

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE
SAĞLIĞI AÇISINDAN ETKİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI



Anıl ÖZIRMAK

Nisan, 2019
İZMİR

BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

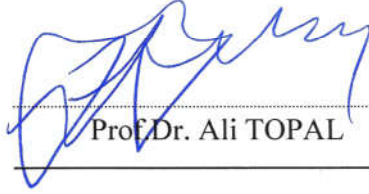
Anıl ÖZIRMAK

Nisan, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ANIL ÖZIRMAK, tarafından PROF.DR. ALİ TOPAL yönetiminde hazırlanan “BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



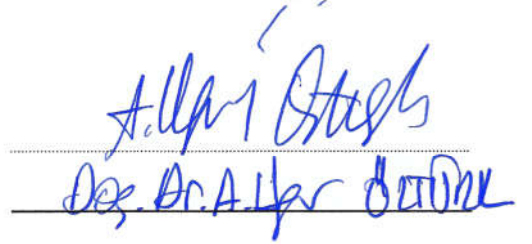
Prof.Dr. Ali TOPAL

Yönetici



Doç. Dr. Sezeri ZEN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Alper DUTLU

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca büyük emeği geçen Prof.Dr. Ali TOPAL'a, ayrıca Prof.Dr. İlgi KARAPINAR'a, Ege Asfalt'tan Ömer ŞAHİN ve IŞIL ASLAN'a, Eni Enerji İnşaat'tan Beytullah ALDEMİR'e, Çimentoş İzmir'den Cenk ÇALIŞKANELLİ ve Yücel KİLİT'e maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve İrem DOKUR'a teşekkür ederim.

Anıl ÖZIRMAK

BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZ

Karayollarının yapımında, düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamanın yanı sıra trafik yüklerini indirgemek, yaymak ve altyapıya iletmek üzere; birden fazla tabakadan oluşan üstyapı tabakaları kullanılmaktadır. Bu üstyapıların en üst yüzeyindeki tabaka kaplama tabakası olarak isimlendirilmekte olup, en yaygın iki türü; esnek kaplama olan bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamalar (asfalt yollar) ve rijit kaplama olan beton kaplamalardır (beton yollar).

Ülkemizde özellikle son yıllarda üzerinde ciddiyle durulmaya başlanan İş Sağlığı ve Güvenliği konusu sayesinde çevre ve insan sağlığına daha da önem verilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada; çevreye verilen zararların, nihayetinde insan ve işçi sağlığını tehdit edeceği bilinciyle yola çıkılarak, yol yapımında kullanılan beton ve asfalt kaplamaların; ham maddeden, yola serimine kadar olan süreçteki çevreye olan zararlı etkileri karşılaştırılmıştır. Özellikle Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından, beton yolların ham madde ve malzemelerinin tamamen yerli üretim olmasının yanı sıra asfalt yollara göre daha çevreci olduğu da iddia edilmektedir. Bu sebeple; KGM sorumluluk sahasındaki otoyolların halen yüzde 100'ü asfalt kaplamalı yol olduğundan, beton yolların yaygınlaşması için yapılan çalışmalar ve girişimler devam etmektedir. Bunun sonucunda 2017 yılında, Karayolları Teknik Şartnameleri ve Yol Yapım Dairesi Başkanlığı'nın görev ve sorumluluklarında beton yollar yer almaya başlamıştır.

Bu çalışmada, son zamanlarda yaygınlaştırılması için üzerinde bir çok araştırma, çalışma ve deneme yolları yapılan beton kaplamalı yollar, ülkemizde hala en çok tercih edilen kaplama çeşidi olan BSK kaplamalı asfalt yollar ile çevreye verdikleri zararlar açısından karşılaştırılmıştır. Beton ve asfalt kaplamalı yolların ocaktan başlayan ve atık hale gelene kadar olan yolculuğundaki üretim, nakliye, uygulama, bakım gibi aşamalarda ortaya açığa çıkan karbondioksit eşdeğeri ve partiküler madde emisyon

faktörleri kullanılmıştır. Bu sayede beton ve BSK kaplamalı yolların objektif bir şekilde karbondioksit eşdeğeri ve partiküler madde emisyonları açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Salınan emisyonların değerleri, -online olarak saatlik ve periyodik olarak yerinde ölçümler dahi- işletmelerden ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan elde edilemediği için yurtdışı kaynaklı araştırmalardan yararlanılarak hesaplamalarda kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: BSK kaplamalı yollar, beton kaplamalı yollar, sera gazı, toz emisyonu, çevre ve işçi sağlığı



COMPARISON OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CONCRETE AND ASPHALT PAVEMENTS

ABSTRACT

Superstructure layers consisting of more than one layer, are used, to reduce, spread and transfer the traffic loads to the lower layers besides to provide a smooth rolling surface in the construction of motorways. The top layer of road superstructures is called surface or wearing course or simply, road pavement which has two the most common types, rigid (concrete) and flexible (bituminous mixtures) pavements.

In Turkey, Occupational Health and Safety is seriously focused in recent years which leads to care both human and environmental health more. With awareness of environmental damages can threaten human and worker health, the environmental effects from the raw material production to the paving processes of the concrete and asphalt motorways compared in this study. Besides being fully domestic product, concrete pavements are claimed to be more environmental friendly by Turkish Cement Manufacturer Association (TÇMB). Therefore studies and initiatives to widen the concrete roads are continuing in order to reduce the percentage of the asphalt paved highways with 100 percent. As a result of these initiatives, concrete roads are added to the duties and responsibilities of Republic of Turkey General Directorate of Highways in 2017.

In this study, concrete pavements which has a number of research, studies carried on and hot-mix asphalt (HMA) pavements which are the most common pavement type in Turkey are compared in terms of environmental damages. Carbondioxide equivalent and Particulate Matter emission factors related to the processes of production, transportation, application and maintenance of the concrete and HMA paved motorways constructions are used. Foreign sources and rates are used because the emitted rates had not been obtained from the manufacturer enterprises and even from Ministry of Environment and Urbanization although the emission rates are monitored online on an hourly and measured in situ on periodic basis.

Keywords: Hot mix asphalt pavements, concrete pavements, greenhouse gases, floating dust emissions, environmental and worker health



İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv

BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
-------------------------------	----------

BÖLÜM İKİ - ULAŞIM MÜHENDİSLİĞİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ	3
---	----------

2.1 Yol Üstyapısı Aşamalarında Karşılaşılması Muhtemel Sorunlar ve İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği	3
--	---

BÖLÜM ÜÇ - BETON YOLLAR VE UYGULAMALARI.....	7
---	----------

3.1 Rijit Üstyapı Tipleri.....	8
3.1.1 Derzli Donatısız Rijit Üstyapılar	8
3.1.2 Derzli Donatılı Rijit Üstyapılar	8
3.1.3 Sürekli Donatılı Rijit Üstyapılar	9
3.2 Beton Yolların Avantajları	10
3.3 Beton Yolların Dezavantajları.....	11
3.4 Türkiye’de Beton Yol Uygulamaları.....	11
3.5 Beton Yol Yapım Aşamaları	18
3.5.1 Taban Zemininin ve Alttemelin Hazırlanması	18

3.5.2 Kalıpların Yerleştirilmesi	19
3.5.3 Betonun Hazırlanması	19
3.5.4 Betonun ve Donatısının Yerleştirilmesi	20
3.5.5 Genleşme Derzinin Yapımı	20
3.5.6 Beton Yolun Sıkıştırılması ve Tesviyesi	20
3.5.6.1 Sıkıştırma	20
3.5.6.2 Tesviye	20
3.5.7 Yol Yüzeyinin Pürüzlendirilmesi	21
3.5.8 Betonun Korunması	21
3.5.9 Yolun Trafiğe Açılması	21
BÖLÜM DÖRT - ASFALT YOLLAR VE UYGULAMALARI	23
4.1 Türkiye’de Bitümlü Bağlayıcıların Kullanıldığı Yol Kaplamaları	24
4.1.1 Sathi kaplamalar	24
4.1.2 Ilık Karışımlar	24
4.1.3 Bitümlü Sıcak Karışımlar	25
4.2 Esnek Üstyapı Tipleri	25
4.3 Bitümün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri	26
4.4 Bitümlü Bağlayıcılar	26
4.4.1 Katran	26
4.4.2 Asfalt	26
4.4.2.1 Doğal Asfaltlar	27
4.4.2.2 Yapay Asfaltlar	27
4.4.2.2.1 Asfalt Çimentoları	27
4.4.2.2.2 Sıvı Petrol Asfatları	28

4.4.2.2.3 Asfalt Emülsiyonları	28
4.5 Asfalt Yolların Avantajları	29
4.6 Asfalt Yolların Dezavantajları	29
4.7 Türkiye’de Asfalt Yol Uygulamaları	30
4.8 Bitümlü Sıcak Karışım Yüzeylerin Hazırlanması	30
4.8.1 Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalar İçin Alt Tabakaların Hazırlanması	31
4.8.1.1 Üstyapı Tabanı	31
4.8.1.2 Granüler Temel Tabakası	32
4.8.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Serimi	32
4.8.3 Bitümlü Sıcak Karışımların Sıkıştırılması	33
4.9 Karayolu Üstyapılarının Tasarımı	33
 BÖLÜM BEŞ - BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	 35
 5.1 Çimento Üretiminde Ortaya Çıkan Toz ve Gazların Limit Değerleri.....	 35
5.1.1 Toz	36
5.1.2 SO ₂	36
5.1.3 kNO _x	37
5.1.4 Ağır Metaller	37
5.1.5 CO ₂	38
5.1.6 PM ₁₀	38
5.2 Bitümlü Bağlayıcı ve Asfalt Üretiminde Ortaya Çıkan Toz ve Gazların Limit Değerleri.....	39
5.2.1 Toz	39
5.2.2 Organik Buhar ve Gazlar	40

5.2.3 SO ₂	45
5.2.4 kNO _x	45
5.2.5 CO	46
5.2.6 PM ₁₀	46
 BÖLÜM ALTI - YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ VE METOD ...	47
 BÖLÜM YEDİ - BULGULAR.....	53
 BÖLÜM SEKİZ - TARTIŞMALAR.....	66
 BÖLÜM DOKUZ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
 KAYNAKLAR	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Derzli donatısız rijit üstyapı türünün kesitleri	8
Şekil 3.2 Derzli donatılı rijit üstyapı türünün kesitleri	9
Şekil 3.3 Sürekli donatılı rijit üstyapı türünün kesitleri.....	9
Şekil 3.4 İncirlik Hava Üssü çevre güvenlik yolu beton dökümü	12
Şekil 3.5 Adana, Mavi Bulvar beton yolu	12
Şekil 3.6 Kaplama yüzeyinin masterlanması	13
Şekil 3.7 Kür uygulaması	13
Şekil 3.8 Derz kesimi.....	13
Şekil 3.9 Kayma demirleri	14
Şekil 3.10Kürleme işlemi	14
Şekil 3.11Kayma demirleri yerleştiriliyor	15
Şekil 3.12Kür uygulaması	15
Şekil 3.13Ordu – Ulubey yolu, beton yol kesimi	16
Şekil 3.14Kocaeli – Karamürsel beton yol kesimi masterlanıyor	16
Şekil 3.15Derz kesimi.....	17
Şekil 3.16Antalya’daki beton yol çalışmasındaki finişer ve işçiler.....	17
Şekil 3.17Denizli’deki beton yol çalışmasındaki finişer	18
Şekil 4.1 Kaplamaların tabakaları ve yükü iletmesi	34
Şekil 8.1 Lin (2012) çalışmasında asfalt ve beton üretimlerinin içerdiği süreçlerin toplam GWP değerleri	66
Şekil 8.2 Lin (2012) çalışmasında asfalt ve beton üretimlerinin içerdiği süreçlerin toplam PM ₁₀ değerleri	67
Şekil 8.3 Lin (2012) çalışmasında beton yol yapımı için Tablo 7.3’de paylaşılan ekipmanların 1 km’deki GWP ve PM ₁₀ emisyonları	68
Şekil 8.4 Lin (2012) çalışmasında asfalt yol yapımı için Tablo 7.4’de paylaşılan ekipmanların 1 km’deki GWP ve PM ₁₀ emisyonları.....	68
Şekil 8.5 Lin (2012) çalışmasında YDD sonucu asfalt (BSK) ve beton (PÇB) kaplamaların CO ₂ -e emisyonları	69

Şekil 8.6 Lin (2012) çalışmasında YDD sonucu asfalt (BSK) ve beton (PÇB) kaplamaların ham madde ve malzemelerinin üretim süreçlerindeki CO ₂ -e emisyonları	70
Şekil 8.7 Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasında YDD sonucu asfalt (BSK) ve beton (PÇB) kaplamaların imalat ve bakım süreçlerindeki CO ₂ -e emisyonları	71
Şekil 8.8 Lin (2012) ve Milachowski ve diğer. (2011) çalışmalarındaki projelerin GWP değerlerinin aynı şerit genişliği ve uzunluğundaki görünümü	72



TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Farklı şantiyelere göre kaza tiplerinin yüzdelik dağılımları (%)	4
Tablo 4.1 Bitümün kimyasal kompozisyonu	26
Tablo 4.2 Asfalt emülsiyonlarının vizkoziteye göre tipleri	28
Tablo 4.3 Asfalt emülsiyonlarının kullanım alanları	28
Tablo 5.1 Organik buhar ve gazlar	40
Tablo 6.1 United States Environmental Protection Agency tarafından belirlenen sera gazlarının GWP değerleri	48
Tablo 7.1 Asfalt üretim tesisindeki emisyon kaynakları ve ölçülen parametreler	54
Tablo 7.2 Asfalt üretim tesisindeki PM ₁₀ ve toz emisyonu ölçümleri	54
Tablo 7.3 Beton yol yapım aşamaları ve sera gazı ve PM ₁₀ emisyon faktörleri	56
Tablo 7.4 Asfalt yol yapım aşamalarında sera gazı ve PM ₁₀ değerleri	57
Tablo 7.5 Beton yolların inşaatı ve bakım-onarımı için gereken malzeme ve makineler	60
Tablo 7.6 Asfalt yolların inşaatı için gereken malzeme ve makineler	61
Tablo 7.7 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi sonucu toplam GWP çıktıları	62
Tablo 7.8 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yapılarak sonucu toplam GWP'ın inşaat süreçlerine göre dağılımı	63
Tablo 7.9 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi sonucu yapım ve bakım süreçlerinin GWP çıktıları	64
Tablo 7.10 Eş hacimdeki yol kaplama malzemelerinin üretiminde açığa çıkan sera gazı emisyonları	65

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İnşaat sektöründe bir çok etmen iş kazalarına sebep olmakta ve inşaat sektörünü iş kazası sıralamasında diğerleri arasında en üst sıralara çıkarmaktadır. İş kazalarının oluşma sebeplerinin başında yetersiz veya uygunsuz işgücü, hızlı iş bitirme kaygısı, maliyet düşürme, yıpratıcı çalışma koşulları yer almaktadır. Yol şantiyelerinde de durum, sektörün geri kalanından daha farklı değildir. Bu nedenle ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği konusu genellikle proaktif bir yaklaşım ile “güvenlik” kısmına odaklanmaktadır. İş sağlığının ve hatta işçi sağlığının da en az iş güvenliği kadar önemli olduğunun bilinmesi ve düşünülmesi gerekir. Bu çalışma, işçi sağlığının çevre sağlığı ile doğrudan ve dolaylı olarak ilişkili olduğunu kabullenerek, asfalt ve beton kaplamaların çevre sağlığına olan etkileri araştırmak ve karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır.

Sanayileşmenin gelişmesi ile birlikte özellikle fabrikaların atmosfere ve çevreye verdiği olumsuz etkiler gün geçtikçe artmaktadır. Sadece çimento üretiminin dünyadaki antropojenik CO₂ emisyonlarının %5'inden sorumlu olduğu düşünüldüğünde, sanayileşmenin çevreye olan zararlı etkileri daha iyi anlaşılmaktadır. Ülkemiz, 64 milyon tonluk çimento üretimin hacmiyle, 2011 yılı itibariyle Avrupa'da 1. ve dünyada 4. sıradadır (Gürsel ve Meral, 2012). 1.450°C ile çimento üretiminde ulaşılan en yüksek sıcaklık farinin kalsinasyon işleminde gözlemlenmektedir. Ayrıca Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün 2015/02 sayılı Genelgesi ile; diğer sektörlerde kullanımı yasaklanan petrokokun, çimento sektöründe yakıt olarak kömür yanında kullanımına ve ancak %5 ($\pm 0,5$) oranında kükürt içermesine müsaade edilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015).

Ülkemizde çevre bilincinin oluşması 1980 sonrasında gözlemlenebilmiştir. Bu süreçte çevre ile ilgili düzenlemeler yapılmış, resmi kurumlar ve sivil toplum kuruluşları kurulmuştur. Çevre ile ilgili faaliyetlerde bulunması için Çevre Müsteşarlığı 1978 yılında çalışmalara başlamış, ilerleyen zamanda Çevre Genel Müdürlüğü'ne dönüşmüş ve sonrasında tekrar müsteşarlık olarak Çevre Bakanlığı'na

bağlanmıştır. 1983'te ise Türkiye'nin ilk Çevre Kanunu kabul edilmiştir (Yüksel, 2011).

1992 yılında Rio'da imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni 2004 yılında imzalanması ile gelişmeye başlamıştır. Bu sözleşme uluslararası ilk çevre sözleşmesi olması ve artan CO₂ seviyesinin insan kaynaklı olduğunun kabul edildiği ilk sözleşme olması bakımından önemlidir (Çimentaş Grup, 2017).

Kyoto Protokolü ise ilk olarak 1997 yılında görüşülse de 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Katılan taraflar; 2005 – 2008 yılları arasını, emisyonların hesaplama ve raporlama dönemi olarak geçirmiştir ve ilk yükümlülük dönemi olan 2008 – 2012 yılları arasını emisyonlarını 1990 yılındakinin %5 altına indirmeye çalışarak geçirmişlerdir. Türkiye bu protokolü 2009 yılında imzalamışsa da 2015 yılına kadar yükümlülük almamıştır. Bunun nedeni ise o yıldaki 369,65 milyon t CO₂ eşdeğeri olan sera gazı yoğunluğunu, tamamen sanayileşmediği 1990 yılındaki 187,03 milyon tonun altına indirmesi gerektiğidir. Bu da % 208 oranında bir indirim ile sanayileşmesini 1990 yılından önce tamamlayan gelişmiş ülkelerin indirmesi gereken orandan kat ve kat daha fazlası demektir (Çimentaş Grup, 2017).

Özellikle Kyoto Protokolü'nün imzalanması sonrası tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de sera gazı emisyonu değerlerini azaltma anlamında bir çok somut adım atılmaya devam edilmiştir. Bu süreçte defalarca güncellenen ve ek maddeler getirilen Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği hangi işletmelerin hangi denetimler altında tutulacağını ve emisyon sınır değerlerini belirlemektedir.

BÖLÜM İKİ

ULAŞIM MÜHENDİSLİĞİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

Ülkemiz Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) ölümlü iş kazaları istatistiklerine göre Avrupa'da ilk sırada, dünyada ise üçüncü sıradadır. Bunun nedeni ise inşaat sektörünün son yıllarda ülkemizde yakaladığı ivmeye rağmen iş sağlığı ve güvenliğine gereken önemin verilmemesidir. 2012-2016 yılları arası SGK'dan alınan verilere göre, ölümlü iş kazalarında inşaat sektörü ortalama %36,05 ile birinci sıradadır (TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2018). Tablo 2.1, inşaat sırasında yaşanmış 5.239 iş kazasının şantiyelere göre kaza tipleri dağılımlarını göstermektedir (Gücanlı ve Müngen, 2006).

2.1 Yol Üstyapısı Aşamalarında Karşılaşılması Muhtemel Sorunlar ve İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği

Yol üstyapısı inşaatında karşılaşılan kazalar ve alınması gereken önlemler genelde iş makinelerinden kaynaklanmaktadır. Ancak bu çalışmada çevre sağlığı ve çevreye verilen zararlı etkilerin insan sağlığına etkileri incelendiğinden, bu başlıkta daha çok biyolojik riskler konusu üzerinde durulacaktır. Asfalt ve asfalt dumanı maruziyetinden kaynaklı olarak baş ağrısı, cilt dökülmesi, alerji ve hassasiyetler, yorgunluk hissi, iştahsızlık, boğaz ve gözde tahriş, öksürük ve deri iltihapları sorunları başta gelmektedir.

Kazı ve dolgu işlerinde ortaya çıkan toz, çalışanlarının solunum sistemlerinde çeşitli rahatsızlıklara ve ilerleyen safhalarda hastalıklara neden olabilir, göz ve solunum yollarında tahrişlere sebep olabilir. Yol yapımı sırasında ortaya çıkan tozun bertarafı için çalışma alanı ve çevresi düzenli olarak temizlenmeli veya sulanmalıdır. Bu tedbirlerin uygulanmasının olanaksız veya yetersiz olduğu durumlarda ise çalışanlara toz maskesi kullanılmalıdır.

İş makinelerinin veya patlatmaların gürültülerine maruz kalan çalışanlara ise işitme kaybı yaşamamaları için kulak koruyucuları kullanılmalıdır.

Tablo 2.1 Farklı şantiyelere göre kaza tiplerinin yüzdelik dağılımları (%) (Güçanlı ve Müngen, 2006)

Kaza Tipleri	Bina	Yol	Tren Yolu	Kanal İşleri	Köprü	Tünel	Liman	Baraj	Yıkım İşleri	Enerji Nakil	Diğer Tip İnşaat
Yüksekten Düşme	49,23	5,76	7,41	10,71	15,71	9,62	11,32	13,2	13,75	30,99	26,97
Elektrik Çarpması	9,08	0,82	1,23	2,38	0,71	0,00	9,43	3,61	1,25	9,86	6,36
Malzeme Düşmesi	9,23	6,79	22,22	9,52	9,29	42,31	18,87	21,69	6,25	14,08	8,79
Yapı Makinaları Kazaları	1,65	25,31	3,70	7,94	8,57	7,69	15,09	16,2	3,75	5,63	11,52
Trafik Kazaları	0,87	18,31	27,16	6,35	3,57	5,77	5,66	9,04	1,25	5,63	4,24
Yapı Kısımının Çökmesi	4,57	0,41	0,00	0,79	3,57	0,00	0,00	0,60	66,25	0,00	5,76
Kazı Kenarı Göçmeleri	2,34	1,85	1,23	32,14	6,43	1,92	7,55	0,00	1,25	0,70	0,91
Diğer Tip Kazalar	18,57	24,07	27,16	17,46	41,43	17,31	26,42	26,5	5,00	19,01	30,61
Patlayıcı Madde Kazaları	0,67	10,49	1,23	7,54	5,00	15,38	1,89	4,82	0,00	3,52	2,73
Malzeme Sıçrama Kazaları	3,79	6,17	8,64	5,16	5,71	0,00	3,77	4,22	1,25	10,56	2,12
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Yol inşaatlarında çokça maruz kalınan titreşim yaratan kaya matkapları, pnömatik deliciler gibi iş makinelerini veya aletleri kullanan çalışanlar için titreşimi absorbe eden eldivenler gibi donanımlar verilmelidir. Bunun uygun olmadığı durumlarda ise titreşime maruz kalınan süreler kısaltılmalıdır. Titreşime yoğun bir şekilde fazlasıyla maruz kalan çalışanlarda Raynaud Sendromu (Beyaz Parmak Hastalığı) görünür. Belirtisi parmak uçlarının uyuşarak soluklaşmasıdır (Güney, 2017).

Yol yapım çalışmalarında fiziksel risk etmenlerinde ise termal konfor ilk sıralarda ele alınabilir. Kışın yapılan çalışmalarda düşük sıcaklıklar, yazın yapılan çalışmalarda ise gerek güneşten kaynaklı gerekse asfalttan kaynaklı yüksek sıcaklıklar çalışanların sağlığını etkilemektedir. Çalışanlar soğuk algınlığı, nezle, grip, güneş çarpması, güneş yanıkları, dehidrasyon gibi hastalıklar geçirebilir, rahatsızlıklar yaşayabilir.

Görüldüğü üzere yüksek sıcaklıklara (165 - 185°C) ulaşılan asfaltın ısıtılmasına bağlı yanma veya parlama kazaları Tablo 2.1’de ayrı bir grup olarak yer almamakta, “Diğer Tip Kazalar” grubunda yer almaktadır. Ancak bu grupta yer alması, bu tür kazaların ciddi sonuçlar doğurmayacağı anlamına gelmemektedir. Asfaltın ısıtılması sırasında fazla ısınmayı ve tutuşmayı engellemesi amacıyla termostatlı ısıtıcılar kullanılmalı. Karışımlar kamyonlara yüklenmeden önce dorsenin içinin mazotla ısıtılması yaygın ancak yanlış bir uygulamadır. Yanma ve parlamaların önüne geçebilmek için yağ veya deterjanlı solüsyonlar ile kaplanmalıdır (Ateş, 2011). Sıcak karışım asfalt uygulamalarında ortamda özellikle yaz aylarında yüksek sıcaklıklara ulaşılacağından, olası bir tutuşma durumunda müdahale için yakında yangın söndürücüler bulundurulmalı ve bu söndürücülerin kuru kimyevi tozlu veya karbondioksitli olmasına dikkat edilmelidir. Mümkün olduğunda ılık karışım asfaltlar ve üzerinde çalışılan; yanma noktası yüksek, toksik etkisi düşük karışımlı asfaltlar kullanılması da yanma riskini düşürecektir.

Yine sıcak asfaltın uygulanması esnasında deride yanıklar oluşması riski de mevcuttur, ısınmış ve ergimiş olan asfalt yoğun ve yapışkan bir formdadır. Bu formda bulunan asfaltın çalışanın üzerine sıçraması veya teması durumunda, deriden uzaklaştırılması zordur. Böylece deride yanıklara, yaralara neden olan asfalt, dermatit, akne benzeri lezyonlara ve keratoza da sebep olabilir. Dermatit, derinin alerjen maddelere teması ile oluşan reaksiyonlardır. Temastan 1-3 gün sonra oluşan kızarma, kaşınma, iltihaplanma durumları 1 hafta sonra kaybolur. Keratoz ise derinin üst tabakasının büyümesidir. Büyüklükleri değişkendir. Kansere bağlı olarak gelişen bir hastalık değildir. Kahverengi veya siyah renkli kabarık bir ben gibi görünmektedir (Fişek Enstitüsü, 2015).

Asfalt üretiminde ve seriminde çalışanlar asfalt dumanı içinde bulunan polinükleer aromatik hidrokarbonlara maruz kalmakta ve bunları solumaktadırlar. Asfalt dumanı; göz, burun, soluk borusu ve ciğerlerde tahriş yol açabilir. Asfaltın insanlarda kansere neden olduğu kanıtlanmasa da bazı hayvanlarda kansere neden olduğu kanıtlanmıştır. bu nedenle asfalt dumanına fazlasıyla maruz kalan çalışanlarda da kansere yakalanma riski artar. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda asfalt kaplama yapımında çalışan işçilerde mide ve üst solunum yolu kanserleri ile karşılaşma oranının yüksek olduğu gözlemlenmiş olsa da sanılanın aksine asfalt dumanının akciğer kanseri riskini artırdığına dair kesin bir kanıt olmamakla birlikte sigara ve alkol kullanımı ile kömür dumanına maruz kalma gibi ölçülemeyen faktörler sebebiyle riskin arttığına dair bulgular vardır (Mundt, Dell, Crawford, Sax ve Bofetta, 2018).

Asfalt üretimi veya serimi sırasındaki yüksek sıcaklık ve emisyonlara maruz kalan çalışanlarda göz, solunum yolu ve derinin korunması için koruyucu gözlük, maske (tünel gibi kapalı ortamlarda çalışanlar için) ve sıcağa karşı dayanıklı eldiven, ayakkabı ve tulum kullanılmalıdır. Mevcut bir yolda tadilat çalışması yapıldığı veya mevcut yola bağlanacak olan yeni bir yol çalışması olduğu takdirde çalışmanın yapıldığı bölüm ve mevcut trafik uygun bariyer ve uyarı levhaları ile ayrılmalı, çalışanların trafiğe çıkmaları engellenmelidir. Sadece gece yapılan çalışmalarda değil, gündüz yapılan çalışmalarda da mutlaka reflektör yelekler kullanılmalıdır. Ayrıca iş makineleri için çalışma alanı ve trafik arasında bırakılan geçişlerde “İş Makinesi Çıkabilir!” uyarıları bulunmalıdır. Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği (2013)’nde yer alan Ek-4 A.5’e göre sadece düşen cisimlere önlem olarak değil, her ne koşulda olursa olsun, çalışanların baş koruyucu donanımlar verilerek kullanılmalıdır.

Sıcak karışım asfalt uygulamalarında ortamda büyük miktarlarda ısı ve gaz salınımları meydana gelmekte ve çalışanlar gerekli kişisel koruyucu ve donanımı kullansa da uzun vadede sağlık sorunları yaşayabilmektedirler. Uygulama sırasında çalışanları da etkileyen, çevreye ve atmosfere verilen zararlar; beton kaplamalı yolların çimento üretim aşamasında karşılaşılmaktadır. Böylece şantiyedeki işçilerin yanma veya akut rahatsızlık yaşama gibi riskleri daha düşüktür.

BÖLÜM ÜÇ

BETON YOLLAR VE UYGULAMALARI

Tarihte ilk defa Romalılar tarafından M.Ö. 1. yüzyılda kullanılan beton, yollardaki taşların bağlayıcı maddesiydi.

19. yüzyıl sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nin Ohio eyaletinde bir sokakta kullanılan beton, tarihin ilk beton yolunu oluşturmuştur. Ancak zamanla zemin problemleri yaşanması ile 1920'li yıllarda tasarım ilkelerine sahip ilk beton yollar yapılmaya başlanmış ve alt zeminleri olan yollar inşa edilmiştir (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003).

Beton yolların hız kazanması; 1933 yılında Almanya'nın askeri birliklerinin hızlı ve güvenli bir şekilde transferlerini sağlamak ve bunu sağlarken aynı zamanda da istihdam sağlamak amacıyla yapılan beton otoyollar sayesinde gerçekleşmiştir. 1960 ve 70'lerde ABD'de 70 bin km ye ulaşan beton yol ağı beton yolların popülaritesini arttırmış, Belçika ve Japonya'da da kullanılmaya başlanmıştır (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003).

Beton yollar, asfalt yollarda kullanılan asfalt betonu aksine çimento betonu kullanılarak yapılmış yollardır. Aslında bu tür yollara adını veren yolun kaplaması olan betondur. Bu kaplamalar hafif, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılabilir. Kaplamaların genel özelliği olarak, betonun buradaki görevi de üzerine gelen tekerlek yüklerini tabana yaymak ve tabanın deforme olmasına engel olmaktır.

Yol yapımında kullanılacak olan betondan istenilen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek kayma direnimine ve düşük yuvarlanma sahip olmalı,
- Agregaların sağlanacağı kaynaklar belirlenip, kalite kontrolünün yapılması;
- Kullanılacak beton tasarımına karar verilmesi,

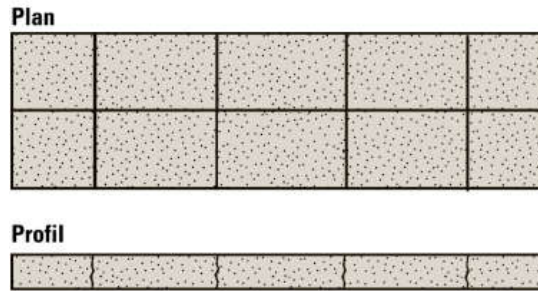
- Beton dökümünden trafiğe açılana kadarki sürede uygulanacak olan serme, mastarlama, pürüzlendirme, derz kesimi gibi işlemlerde iyi bir işçilik gerektirmesi,
- Beton yolların atmosferik şartlara açık saha betonu olması nedeniyle soğuk ve sıcak havada beton döküm şartlarına ve kür koşullarına dikkat edilmesi.

3.1 Rijit Üstyapı Tipleri

Beton yol bir rijit üstyapı türüdür. Rijit üst yapılar; derzli donatısız, derzli donatılı ve sürekli donatılı olarak üçe ayrılmaktadır.

3.1.1 Derzli Donatısız Rijit Üstyapılar

Anolar genel olarak 3 - 6 m uzunluğunda ve 125 - 350 mm kalınlığında olup donatı içermezler. Derzler geçmeli veya geçmesiz olabilir. Genel olarak granüler malzeme, zayıf beton tabakası (grobeton) veya bitümlü tabaka üzerine serilebilir. 100 - 200 mm arası temel tabakası kalınlığı olan derzli donatısız rijit üstyaplardaki bu kısa derz aralığı anolardaki çatlamayı önlemek amaçlıdır. Bu tip yollarda yük transferini geliştirmek amacıyla stabilize temel tabakası kullanılır.

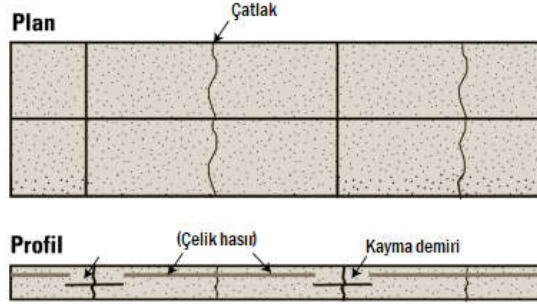


Şekil 3.1 Derzli donatısız rijit üstyapı türünün kesitleri (Federal Highway Administration, 2006)

3.1.2 Derzli Donatılı Rijit Üstyapılar

Anoların uzunlukları 8 - 30 m arasında, kalınlıkları ise 150 - 350 mm arasında değişmektedir. 100 - 200 mm arasında temel tabakası kalınlığı bulunur. Daha uzun

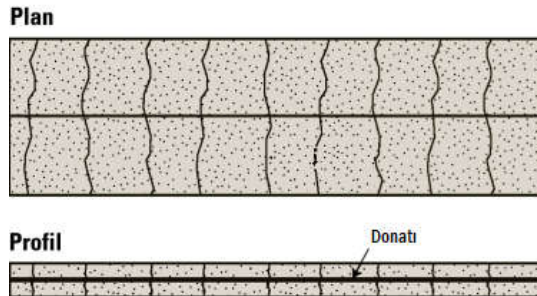
anolarda rötre çatlakları gözlemlenir. Donatının kullanılmasındaki amaç anotalarındaki çatlak oluşumlarını minimize etmektir. Daha uzun derz aralıkları, daha büyük derz boşluklarına sebep olduğundan burada donatılar yük transferini sağlamak için kullanılır.



Şekil 3.2 Derzli donatılı rijit üstyapı türünün kesitleri (Federal Highway Administration, 2006)

3.1.3 Sürekli Donatılı Rijit Üstyapılar

Sadece boyuna derzleri olan beton yollardır. Çelik donatı plaklar boyunca ilerler. Plakların kalınlığı 150 - 250 mm arasındır. Yapısı gereği diğer iki tip rijit üstyapılardan daha fazla donatı içermektedir. Oluşan uzunlamasına çatlaklar, kaplamaların bozulmasına neden olan yüzeysel oyuntulara da sebep olmaktadır. Bu yüzden anotaların gerilmelerini azaltmak için stabilize temel ile kullanılır. Alt-temel üst yapıya gelen yükleri transfer ederek, üstyapıyı korumaktadır.



Şekil 3.3 Sürekli donatılı rijit üstyapı türünün kesitleri (Federal Highway Administration, 2006)

3.2 Beton Yolların Avantajları

Beton yolların çevreci olduğu hem Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) hem de Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından bir çok yayında belirtilmiştir. TÇMB, European Concrete Pavement Association (EUPAVE) kaynaklı bir çevirisinde bir beton yolun CO₂ emisyonu azaltılmasını sağladığı ve çevreye zararlı olmadığını söylerken (EUPAVE, 2018), aynı zamanda THBB ise yapım ve uygulama aşamalarında beton yolların daha az çevre kirliliğine neden olduğunu belirtmiştir (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003). Çevreci veya çevre dostu tabiri içinde bir çok etmen bulundurabilir. Bunlardan biri de bu yol kaplamalarının servis ömürleri boyunca neden oldukları sera gazı ve toz emisyonlarıdır. Bu çalışmanın amacı iki kaplama türünü bu yönden incelemek ve karşılaştırmak olup, karşılaştırmayı karışım malzemelerinin üretimi, karışımların hazırlanması, kaplamanın serilmesi ve servis ömrü boyunca bakım – onarımı olarak detaylandırarak sunmaktır. Bu şekilde kaplamaların avantajlarının farklı süreçlere göre değerlendirilebilmesi amaçlanmaktadır. Beton yolların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bakım ve onarım işlemleri asfalt kaplamalara çok daha seyrek.
- Yüksek taşıma gücü sayesinde aynı trafik yükünde asfalt kaplamalara göre daha az kaplama kalınlığı gerektirir.
- Yüksek mikrodokusu sayesinde daha kısa fren mesafesi sağlar ve yüksek kayma direnimi sayesinde daha düşük su kızılgı etkisine sahiptir.
- Özellikle ülkemizde yük taşımacılığının %90 oranında karayolu ile yapılması nedeniyle asfalt kaplamalı yollarda sıkça görülen kalıcı deformasyonlar (tekerlek izi, ondülasyon, yığışma vb.) beton yollarda gözlenmez.
- Uygun sıcaklık aralığında (+5°C - 32 °C) ve geliştirilen katkıları sayesinde her mevsimde uygulanabilir. Ancak soğuk iklimde erken dayanımı yüksek beton üretilmesi durumunda başlangıç dayanımı yüksek olsa da nihai dayanımı daha düşük olması söz konusudur (Baradan, ve diğer., 2015)
- Açık renkli olması dolayısıyla insan, hayvan ve taşıtların gece görünebilirliğini artırır.
- Diğer kaplama türlerine göre daha uzun ömürlüdür.

- Düşük yuvarlanma direnimi sayesinde yakıttan ve lastik ömründen tasarruf sağlar (Kozak, 2011) ve yüksek kaymaya direnimi sayesinde daha kısa fren mesafesi ve daha dik eğimlere uygulanma olanağı sağlar.

3.3 Beton Yolların Dezavantajları

- Açık renkli olduklarından özellikle güneşli havalarda göz kamaşmasına sebep olabilir, bunun yaşanmaması için betona boya karıştırılabilirse de maliyeti etkilediğinden kullanımı çok yaygın değildir.
- Derzli donatılı ve derzli donatısız uygulamalarda derzler ve drenaj amaçlı açılan ince kanallar sebebiyle tekerlek gürültüsü yapabilir, sarsıntıya sebep olabilir (Kozak, 2011). Sürekli donatılı uygulamalarda bu problemler görülmemektedir.
- Kayma demiri yerleştirilirken, dokulu yüzey oluşturulurken ve derz kesimi yapılırken ince işçilik ve zamana ihtiyaç duyulması.
- Trafik altında çalışmaya uygun değildir, bakım - onarım sırasında servis yolu gerektirebilir (Topal, 2010).
- Bakım – onarım çalışmaları uzun süreli ve maliyetlidir. Altyapı çalışmaları için kaplamanın kırılması gereklidir.
- Yolun trafiğe açılması için beton kaplamanın belirli bir dayanıma ulaşması beklenmelidir.

3.4 Türkiye’de Beton Yol Uygulamaları

1950 yılında kurulmuş KGM sorumluluğundaki otoyolların tamamı Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalıdır. Bu sebeple ülkemizde asfalt yol yapımına dair belirgin bir tecrübe mevcuttur. Ayrıca ucuz bitüm de sağlanabilmiştir. Bunun da etkisi ile tüm karayolları düşünüldüğünde; günümüzde beton kaplamalı yolların oranı sadece %6’dır.

İncirlik Üssü içerisindeki pist ve yollarda (Şekil 3.5) beton kaplamalar kullanılması, Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından yakından takip edilmiş ve 1985 - 1990 yılları

arasında benimsenen Yeni Adana Projesi dahilinde bazı bulvarlarda (Şekil 3.4) uygulanmıştır. Bu yollar günümüzde halen hizmet vermektedir (Ecevit, 2007).



Şekil 3.4 İncirlik Hava Üssü çevre güvenlik yolu beton dökümü (Ecevit, 2007)



Şekil 3.5 Adana, Mavi Bulvar beton yolu (Ecevit, 2007)

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'nin onayını olarak Afyonkarahisar - Emirdağ arasındaki 2 kilometrelik deneme alanında 28 Mayıs 2004 yılında yapımına başlanan beton yol (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7), Türkiye'de yapılmış olan ilk beton yol uygulamasıdır. Yapımı 6 ay sürmüş olan beton yol, 17 Haziran 2004 yılında tamamlanmış ve günümüzde halen herhangi bir bakım veya tadilat gerektirmeden kullanılmaya devam etmektedir. Servis ömrü ise Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nce en az 25 yıl olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.6 Kaplama yüzeyinin masterlanması (Yeniboğanlı, 2010)



Şekil 3.7 Kür uygulaması (Yeniboğanlı, 2010)

Teknik bağlamda Afyonkarahisar – Emirdağ yol ayrımının 5+700 ve 7+700 km arasında boyuna eğilme derzli olarak yapılmış olan 7,50 m genişliğindeki yolda; plağı ortalayarak ve bağlantı donatılarına dik şekilde bırakılmış derzler (Şekil 3.8) bulunmaktadır. Daha sonrasında ise 1- 2 mm olan derz kalınlıkları 25 mm derinliğe kadar 7 - 8 mm'ye çıkarılmıştır.



Şekil 3.8 Derz kesimi (Yeniboğanlı, 2010)

Bir diğ er deneme amaçlı olarak yapılacak olan yol  stanbul'daydı. Yine T  MB ve KGM arasında imzalanan protokol ile belirlenen bu kesim; Hasdal Kav ağı – Kemberburgaz Ayrımı – Yass  ren Devlet Yolu'nun 39+900 ve 43+504 km'leri arasında kalan, Kemberburgaz ayrımına doğıru sağı tek taşıt y n  ( ekil 3.9 ve  ekil 3.10) olan yol yaklaşık 3,50 km idi. Yolun 40+000 ile 42+500 km'leri arası 5 cm asfalt ve 27 cm beton, 42+500 ve 43+500 km'lerinde ise 32 cm beton kaplama kullanılmıştır. 1 Mayıs 2006'da in aasına ba layan yolun, 10 Ağıustos 2006'da geçici kabul  yapılmıştır (Yeniboğanlı, 2010).



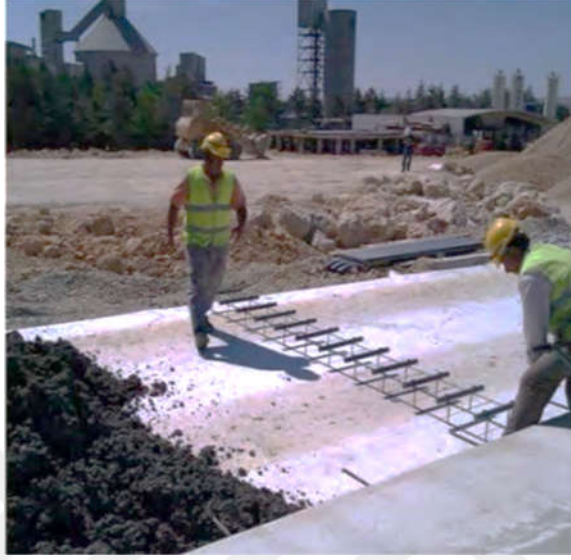
Şekil 3.9 Kayma demirleri (Akpınar, 2014)



Şekil 3.10 K rleme işlemi (Akpınar, 2014)

Türkiye'de  imento sektörünün önde gelen firmalarından biri olan  imsa, Eskişehir'deki fabrikasının  n nden geçen ( ekil 3.11) Eskişehir – Bursa karayolunun yaklaşık 2 km'lik kısmını, yoldaki taşıt trafiğini rahatlatmak ve fabrikasına giriş –  ıkı 

yapan ağır vasıta araçlarına güvenli bir yol sunmak amacıyla beton yol ile değiştirmiştir (Şekil 3.12). 30 yıllık servis ömrü ile projelendirilen bu yol, yüzde yüz yerli üretilmiştir (Gülen Şahin, Derin ve Arıkoğlu, 2016).



Şekil 3.11 Kayma demirleri yerleştiriliyor (Gülen Şahin, Derin ve Arıkoğlu, 2016)



Şekil 3.12 Kür uygulaması (Gülen Şahin, Derin ve Arıkoğlu, 2016)

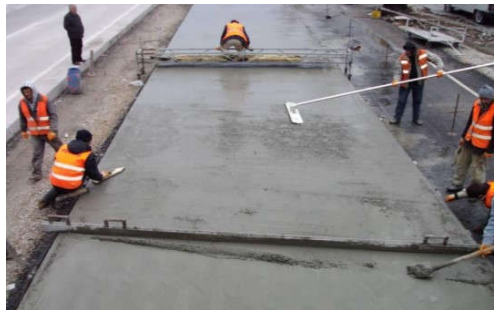
2007 yılında KGM ve Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) arasında imzalanan protokol ile Ordu – Ulubey devlet yolunun 5+000 – 6+000 km’leri arasında çift yönlü olarak beton yol deneme kesimi yapılmıştır. Beton yolun 700 m’lik kısmında bor katkılı çimento ve geri kalan 300 m’lik kısmında ise katkısız çimento kullanılmış ve plak kalınlığı 28 cm olarak imal edilmiştir. Bu yol bölünmüş yolun bir tarafına

yapılmış, böylece beton yol ve mevcut sathi kaplamalı yolun karşılaştırılması amaçlanmıştır (KGM Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2018). Şekil 3.13'te görünen yol tekerlek izlerinden dolayı asfalt izlenimi vermektedir.



Şekil 3.13 Ordu – Ulubey yolu, beton yol kesimi (İHA, 2019)

2009 yılında KGM'nin üstyapısını projelendirdiği, beton dizaynını ve imalatını kendi yaptığı ilk beton yol uygulaması; Kocaeli - Karamürsel şehir geçişi arasındaki 2,50 km uzunluğundaki bölünmüş yolda (gidiş – geliş toplam 5 km) gerçekleşmiştir. İzmit – Yalova D-130 devlet Yolunun 38+400 – 40+000 km'leri arasındaki 1,6 km'lik kesimde uygulanan beton yolun altyapısı, mevcut bitümlü sıcak kaplamanın kaldırılıp, terasman kotuna kadar taş dolgu yapılarak elde edilmiştir. Bu uygulamada 20 cm plentmiks temel üzerine, 6 cm binder tabakası ve 30 cm beton kaplaması serilmiştir (Abut ve Cankaya, 2016). Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de mastarlama ve derz kesimi görülmektedir.



Şekil 3.14 Kocaeli – Karamürsel beton yol kesimi mastarlanıyor (Abut, 2018)



Şekil 3.15 Derz kesimi (Abut, 2018)

Türkiye'nin ilk silindir ile sıkıştırılmış beton (SSB) yolu ise 2009 yılında Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından toplam 150 m boyunca yapılmıştır (Şekil 3.16). Bu yol, 20 cm temele, 10 cm alttemele, 19 cm SSB ve 4 cm asfalt tabakadan oluşmakta ve 4 kesim halinde yapılmıştır.



Şekil 3.16 Antalya'daki beton yol çalışmasındaki finişer ve işçiler (Yaman ve Ceylan, 2015)

2009 yılında Antalya'daki uygulamanın etkisi ile aynı yıl SSB yol yapımına (Şekil 3.17) başalayan Denizli Belediyesi, 15 cm kalınlığında poroz beton üstüne parke taşı uygulamıştır. 2011 yılında ise şehrin ara sokaklarında poroz beton uygulaması yaparken, ana caddelerde ise çelik lifli SSB yol yapılmıştır (Yaman ve Ceylan, 2013).



Şekil 3.17 Denizli’deki beton yol çalışmasındaki finişer (Yaman ve Ceylan, 2015)

3.5 Beton Yol Yapım Aşamaları

Beton yolun yapım aşamaları Ağar, Süttaş ve Öztaş, (1998)’a göre dokuzaya ayrılır. Bu aşamalar en başından itibaren büyük önem arz etmektedir. Bunun nedeni ise, ilk aşamada yapılacak olan en küçük bir hatanın, ileride çok büyük problemlere sebep olabileceğidir.

3.5.1 Taban Zemininin ve Alttemelin Hazırlanması

Taban zemini, beton kaplamayı ve bunun üstüne gelecek olan trafik yüklerini taşır. Taban zemininin bu yükleri bozulmadan taşıyabilmesi için iyice sıkıştırılması gerekmektedir. Bu işlem için de silindirler kullanılır. ± 6 mm toleransla tesviye edilen alttemel, enkesit ve boykesit olarak kontrol şablonu ile kontrol edilmektedir. Taban zeminin üzerine gelen yükleri üniform bir şekilde taşıması, kaplamada herhangi bir çatlağa veya kaymaya neden olmaması açısından son derece önemlidir. Bu yüzden taban zemininin her yerde aynı malzemenin kullanılması ve aynı sertlikte olması gerekmektedir. Bu işleme, yol üzerinde yer alacak herhangi bir menfez, kanal gibi sanat yapılarının dolgularında da dikkat etmek gerekir.

Taban zeminin beton döküleceği sırasındaki nem doygunluğu büyük önem arz etmektedir. Çok kuru ise betonun suyunu emecek ve rötre çatlakları oluşacak, çok nemli ise taban zemini çamur haline gelecektir. Bu taban zeminin nedenle beton dökümünden önceki gece ıslatılması uygun olur. Ayrıca beton dökümünden önce zemine serilecek bir branda, beton kaybının da önüne geçecektir.

3.5.2 Kalıpların Yerleştirilmesi

Kalıplar, dökülmüş olan ıslak betonun hareketini sınırlamak ve beton plaklar arası lamba-zıvanalı yüzey oluşmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Devrilen, yerinden oynayan, oturan kalıplar bitmiş betonda kötü bir manzaraya ve kaliteye sebep olur.

Çelik kalıplar yerleştirilirken, önce bir doğrultu belirlenir, daha sonrasında belirli aralıklarla kazıklar çekilerek, aynı kotta ilerleyecek şekilde ip veya ince çelik halat gerilir. Daha sonrasında ise bu iplere teğet olacak şekilde kalıbın kazıkları çakılır ve sıradaki kalıplar ilk kalıp baz alınarak yerleştirilmeye devam eder.

3.5.3 Betonun Hazırlanması

Beton için harmanlar şeklinde sahaya vagonlar veya kamyonlar ile getirilen malzemelerin plentte kullanılması yanı sıra hazır beton da kullanılır. Döküm alanına çağırılan godeli hazır beton mikseri, servis yolu olmadığı sürece, düzenlenen taban zemini üzerinde gideceğinden, tesviyesi iyi yapılmayan veya iyice sıkılaştırılmayan tabanda bozukluklara sebep olabilir. Bu yüzden üzerinde kendi bomu olan transmikserler ile beton dökülmesi daha sağlıklı olacaktır.

Beton dökerken hava sıcaklığı her zaman önemli bir kriter olmuştur. Mevcut şartnameler beton dökümündeki maksimum sıcaklığı vermemektedir ancak +40°C'den daha sıcak havalarda beton dökülmemesi önerilmektedir böylece betonun çabuk priz alıp kılcal çatlaklarının artması önlenir.

3.5.4 Betonun ve Donatısının Yerleştirilmesi

Donatılı yollarda, donatının alt kotuna kadar olan yükseklikte beton dökülür, daha sonrasında ise beton kurumadan donatılar indirilir ve betonlanmaya devam edilir böylece beton katmanları arasında soğuk derz oluşumu önlenmiş olur.

3.5.5 Genleşme Derzinin Yapımı

Enine genleşme derzlerinin, kaplama yüzeyine tam dik olmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca derz dolgu malzemesinin daima hazırda tutulması gerekir, aksi takdirde dolgu uygulanana kadar derz arasına kaçacak küçük bir beton parçası, genleşme anında kama gibi çalışarak betonu çatlatacaktır.

Beton dökümünden sonra açılacak olan derzlerde, betonun priz başlangıcında kesmeye dikkat edilmelidir, geç kalınırsa kesme işlemi zorlaşır ve çatlaklar meydana gelebilir.

3.5.6 Beton Yolun Sıkıştırılması ve Tesviyesi

3.5.6.1 Sıkıştırma

Kullanılan vibratörler beton yolun serim tekniğine göre değişmektedir. Küçük işlerde veya yolun ayrı plaklar şeklinde döküldüğü teknikte klasik vibratörler veya yüzey vibratörleri kullanılırken, finişerlerin kullanıldığı teknikte finişerin dahili vibratörü kullanılmaktadır.

3.5.6.2 Tesviye

Yol yapımında olabildiğince elle tesviyeye izin verilmemidir. Tesviye makineleri kullanılmaktadır. Tesviye makinesi istenilen kottan 1 - 2 cm daha yüksek bir kotta serilmiş olan beton yüzeyde ilerler ve mastarı yardımıyla önündeki betonu bir nebze

sıkıştırır ve arkasından gelen araç sayesinde yüksek kotta dökülen beton da istenen kota indirilmiş olur.

3.5.7 Yol Yüzeyinin Pürüzlendirilmesi

Her türlü yol kaplamasında olduğu gibi beton yollarda da yolun taşıtların kaymasını önlemeleri ve fren mesafesini azaltması için pürüzlendirme yapılması gerekmektedir. Bu yüzden beton yolun yapımı, servis ömrü ve bakımı sırasında belirli pürüzlendirme yöntemleri ile yuvarlanma katsayısı artırılmadan kayma sürtünme katsayısı artırılmaktadır.

3.5.8 Betonun Korunması

Betonun döküldükten sonraki ilk 72 saatte ıslak tutulması kırılma modülünü %20 ve aşınma direncini %35 oranında artırır. Bu yüzden ilk üç gün betonun ıslak tutulmasına özen gösterilmelidir. Bunun için genellikle sıcak havalarda, betonun üzerine branda veya şilte serilerek ıslatılır. Suyun ulaşılması zor olduğu yerlerde dökülen betonlarda ise, kalsiyum klorür kullanılabilir. Bu betonun havadan nem çekebilmesini sağlar. Bunun için ise bitmiş yola önce branda örtülür, prizini alan betonun brandası kaldırılarak kalsiyum klorür yüzeye serilir.

+5°C altındaki hava sıcaklıklarında dökülecek olan betonda ısıtılmış agrega, sıcak su ve yüksek ilk dirençli çimento kullanılması gerekmektedir. Çimentonun sertleşmesini sağlayan kimyasal tepkimeler +5°C ve +20°C'ler arasında gerçekleşir, ancak beton uygun bir sıcaklıkta döküldüğü ve ortaya çıkan ısıнын bünyede tutulduğu sürece, priz alma süreci herhangi bir sıcaklıkta gerçekleşebilir.

3.5.9 Yolun Trafîğe Açılması

Birçok ülkede, yol betonunun dökümü sırasında alınan numuneler aynı ortamda saklanır ve 7 - 8 gün sonra kontrol edilir. Betonun kırılma direncinin 30 kg/cm²'yi

bulması, ağır trafiğe maruz kalacaksa 35 kg/cm²'yi bulması beklenir (Ağar, Sütas ve Öztaş, 1998).



BÖLÜM DÖRT

ASFALT YOLLAR VE UYGULAMALARI

Asfalt kullanımının başladığı 5000 yılı aşkın süredir geçirimsizliği sağlayan bir inşaat malzemesidir. Ancak asfaltın yol inşaatında kullanılmaya başlanması çok da eski tarihlere dayanmamaktadır. 100 yıl öncesinde yollarda taşıtların kaldırdığı tozu önlemek amacıyla kullanılmaya başlanan asfaltın ilk plenti 1920 – 1930 yılları arasında işletmeye alınmıştır (Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği, b.t.).

Türkiye’deki ilk asfalt kaplama uygulamaları Osmanlı döneminde gerçekleşmiş ve Fransızlardan yardım alınmıştır. Cumhuriyet döneminde ise ilk uygulamalar 1929’da başlamış ve Marshall Teknik Yardımı sayesinde 1948’ten itibaren yaygınlaştırılmış ve sonunda 1950 yılında KGM kurulmuştur (Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği, b.t.).

Otomotiv, yolcu ve yük taşıma sektörünün gelişmesi ile birlikte gün geçtikçe artan karayolu ağı 1950 yılında 9.500 km iken, 2019 yılında 67.333 km’ye ulaşmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018a).

70’li yılların sonunda KGM’nin teşviki sayesinde BSK üretim ve uygulamasına geçen ve makine parkını bu yönde oluşturan mütahhitler aktivite alanlarına asfaltı da eklemiştir (Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği, b.t.).

2000’li yılların başında toplumsal bir yara haline gelen trafik kazalarını, can ve mal kaybını azaltmak ve güvenliği sağlamak amacıyla yapımı planlanan 15.000 km’lik bölünmüş yolların öncelikli 6.000 km’sinin yapımına 2003 yılında başlanmıştır (Türkiye Asfalt Mütahhitleri Derneği, b.t.).

2007 yılı itibarı ile 63.899 km uzunluğundaki karayolu ağının %93’ü asfalt kaplamalıdır. Asfalt kaplamalı bu yolların ise %78’i sathi kaplama iken sadece %15’inde belirli bir stabiliteye sahip olan BSK kullanılmıştır. 1.987 km si otoyol, 9.258 km si bölünmüş yol ve il yolu standardında iken bu yolların %34’ü BSK kaplamalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018b).

2019 yılı itibarı ile 67.333 km uzunluğundaki karayolu ağının %94'ü asfalt kaplamalıdır. Asfalt kaplamalı bu yolların ise %62'si sathi kaplama iken sadece %38'inde belirli bir stabiliteye sahip olan BSK kullanılmıştır. 2.159 km'si otoyol, 20.475 km si bölünmüş yol ve 1.796 km si il yolu standardında iken bu yolların toplamda %36'sı BSK kaplamalıdır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018b).

4.1 Türkiye’de Bitümlü Bağlayıcıların Kullanıldığı Yol Kaplamaları

Asfalt yolların yapısını ve özelliklerini anlayabilmek için öncelikle bitümlü bağlayıcıları ve asfaltın üretimini incelemek gereklidir. Asfalt kaplamalar kullanım şekilleri ve alanlarına göre 3 grupta incelenebilir.

4.1.1 Sathi kaplamalar

Sathi kaplamalar düşük trafik yükü olan yollarda kaplama tabakası olarak kullanılmaktadır. Tercih nedenlerinin başında düşük maliyetine rağmen yüksek kayma direnci gelmektedir. Bozulmuş kaplamaların bakım – onarım çalışmalarında kullanılmasının yanı sıra hizmete açılması düşünülen granüler temel tabakalarına da geçici olarak bir kaplama olarak kullanılmaktadır. Trafik, mevcut yol yüzeyi, mıcır gradasyonu, püskürtülen bitümlü bağlayıcı oranı ve çevre koşulları sathi kaplamalarının performansını önemli düzeyde belirleyen etmenlerdir.

4.1.2 Ilık Karışımlar

Bitümlü karışım performansından taviz vermeden, üretim sıcaklığının; kullanılan yakıt ve açığa çıkan emisyonların düşürülmesi amacıyla en az 20 – 30°C azaltılması ile elde edilmiştir. Karışımın üretimi sırasındaki sıcaklığın 10°C düşürülmesi, açığa çıkan emisyonun % 50 azalmasına neden olacağından hak ettiği önemi görmeye başlamıştır.

4.1.3 Bitümlü Sıcak Karışımlar

Orta ve ağır trafikli yollarda, yükleri taşımak, tabana yaymak ve alttaki tabakaları doğa koşullarına karşı korumak amacıyla kullanılmaktadır. Bu karışımlar sıcak agreganın, ısıtılmış asfalt çimentosu ile karıştırılması ile elde edilir ve bu nedenle sathi kaplamaya göre maliyeti çok daha yüksektir. Bu nedenle kendinden istenen belirli koşulları sağlaması için stabilite, durabilite, geçirimsizlik, işlenebilirlik, esneklik, yorulmaya direnci ve kayma direnci gibi özellikleri yeterince yerine getirmesi gerekmektedir.

4.2 Esnek Üstyapı Tipleri

Esnek üstyapı, bitümlü kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapılara verilen isimdir. Kaplama temel ve alt temel tabakasından oluşan bir yapıdadır. Kaplama tabakası aşınma ve binder tabakalarından oluşan sıcak bitümlü karışımlardan veya sathi kaplamalardan oluşan soğuk bitümlü karışımlardan oluşur. Esnek üstyapıda yük iletimi alt tabakalarda daha geniş alana yayılarak taban zeminin taşıyacağı değere indirgeme esasına dayanmaktadır ve stabilitesi; kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi özelliklerine bağlıdır.

Esnek yol üstyapı kaplamalarının kendilerinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilmeleri için:

- Kalıcı deformasyonlar,
- Yorulma çatlakları,
- Düşük sıcaklık çatlakları,
- Soyulma,
- Düşük durabilite gibi başlıca bozulmaların en aza indirgenmesi sağlanmalıdır.

4.3 Bitümün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Asfaltlar, katranlara göre daha karmaşık kimyasal yapılara sahiptir. Asfaltik bitümler hidro-karbon bileşiklerden oluşmuştur ancak bunların ağırlıkları ve kimyasal karakteristikleri birbirinden farklı gruplara ayrılabilir. Tablo 4.1 bitümün kimyasal içeriğini göstermektedir.

Tablo 4.1 Bitümün kimyasal kompozisyonu (Ilıcalı, Tayfur, Özen, Sönmez ve Eren, 2001)

Element	Kütlece yoğunluk %'si
Karbon	82-88
Hidrojen	8-11
Sülfür	0-6
Oksijen	0-1,5
Nitrojen	0-1

4.4 Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm; doğal kökenli hidrokarbonların, yanıcı hidrokarbonların veya bu iki tür hidrokarbonların karışımından oluşan ve kat, yarı katı, sıvı ve gaz haline olabilen yapıştırıcı özellikteki maddedir.

4.4.1 Katran

Katran kapalı bir sistem içinde odun veya kömürün kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Ham olarak değil, arıtdıktan sonra kullanılır. Yol kaplamalarında kullanılacak olan katranın kömür bazlı olması tercih edilmektedir. RT kısaltmasıyla gösterilen yol katranları yoğunluklarına göre RT-1, ...RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olarak 14 sınıfa ayrılırlar. Numaralar büyüdükçe kıvam seviyesi de artmaktadır.

4.4.2 Asfalt

Asfaltın tanımı hakkında Türkçe kaynaklarda geniş bilgiler bulunmasa da; ham petrolün arıtılmasından elde edilen, kuvvetli bağlayıcılık özelliği olan ve

hidrokarbonlardan oluşan organik bir madde olarak tanımlanabilir. Asfaltlar katı, yarı katı veya sıvı halde bulunabilir. Hidrokarbonlardan sıvı halde olanlara petrol, gaz halde olanlara doğal gaz, katı halde olanlara ise asfalt, parafin veya bitüm adları verilir. Normal hava sıcaklığında katı olan bitüm, benzin, mazot, gazyağı veya su ile inceltir ve kaplamalarda kullanılacak kıvama getirilir.

1 ton petrolden yaklaşık olarak; %65 oranında beyaz (benzin, dizel ve jet yakıtı), %27 - 28 oranında siyah ürün (fuel oil ve asfalt) açığa çıkmaktadır ve yaklaşık olarak %13 - 15'i benzin ve %29 - 30'u motorine dönüşmektedir. Asfaltlar kaynaklarına göre doğal ve yapay asfaltlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

4.4.2.1 Doğal Asfaltlar

Doğada genellikle minerallerle karışmış halde bulunur, bu yüzden kullanabilmek için işlemlerden geçmesi gerekir. Göl asfaltı, kaya asfaltı doğal asfaltlara örnektir. Trinidad Göl Asfaltı en yaygın kullanılan örnektir. 10 - 15 milyon ton rezervi bulunur ve yaklaşık %55 asfalt içerir. Kaya asfaltları ise en fazla %12 oranında asfalt içermektedirler. Doğal asfaltlar asfalt çimentosuna katılarak veya plentte agregaya ilave edilerek, modifiye bitüm hazırlamak için kullanılır.

4.4.2.2 Yapay Asfaltlar

Petrol kuyusundan çıkan ham petrol önce tanklara, daha sonra ısıtma kulelerine gönderilir. Buradan da ısısı artırılarak damıtma kulelerinde gönderilir. Kulenin dibinde biriken kalıntılar asfalt içerir. Parafin kökenli, asfalt kökenli ve karma kökenli olarak gruplandırılabilir. Ham petrol; benzin, gaz yağı, dizel yağ, yağlama yağları ve ağır kalıntı olarak ayrıştırılmaktadır.

4.4.2.2.1 Asfalt Çimentoları (AC). Kalıntı maddeler daha da ısıtılırsa SC (Slow Curing) yavaş kür olan yol yağları elde edilir, geriye AC kalır. Koşulların değiştirilmesi ile istenilen penetrasyon elde edilmiş olur. Kıvamlılığı gösteren ve 10 - 300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılır.

4.4.2.2.2 *Sıvı Petrol Asfaltları.* AC ile kolay uçan çözücü (benzin, nafta) karıştırılarak çabuk kür olan RC (Rapid Curing) Sıvı Petrol Asfaltları; orta derece uçucu çözücü (gaz yağı) karıştırılırsa orta hızda kür olan MC (Medium Curing) Sıvı Petrol Asfaltları; ağır yağlarla (bakiye) inceltilerek yavaş hızda kür olan SC (Slow Curing) Sıvı Petrol Asfaltları üretilmektedir.

Sıvı petrol asfaltlarının her birinin kinematik viskozite değerleri farklıdır. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakalarının satılarında kür malzemesi olarak kullanılır.

4.4.2.2.3 *Asfalt Emülsiyonları.* Emülsiyon, iki sıvının birbiri içerisinde çözünmediği halde mikron mertebesindeki küçük tanecikler halinde üniform olarak dağılmasıdır. Emülgatör asfalt çimentosu taneciklerinin suda birbirlerine bağlanarak çökmesini engeller. Çünkü asfaltın su içinde dağıtılmasıyla elde edilen emülsiyon, asfalt tanecikleri yeniden birbirine bağlanmaya başladığı için kısa bir süre sonra ayrılır. Emülgatör ise asfalt kürecikleri arasında bir film oluşturarak yeniden birleşmelerini önler. Agregayla temas eden emülsiyonlar kesilir, asfalt agregaya bağlanır, serbest kalan su buharlaşır. Asfalt emülsiyonlarının vizkoziteye göre tipleri ve kullanım alanları sırası ile Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te belirtilmiştir.

Tablo 4.2 Asfalt emülsiyonlarının vizkoziteye göre tipleri (İlçalı ve diğer., 2001)

Asfalt Emülsiyonu	Çabuk Kesilen (Rapid Setting)	Orta Hızda Kesilen (Medium Setting)	Yavaş Kesilen (Slow Setting)
Anyonik	RS-1	MS-1	SS-1
	RS-2	MS-2	SS-1h
		MS-2h	
Kasyonik	CRS-1	CMS-2	CSS-1
	CRS-2	CMS-2h	CSS-1h

Tablo 4.3 Asfalt emülsiyonlarının kullanım alanları (İlçalı ve diğer., 2001)

SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-2	Astar tabakasında
RS-1, RS-2, CRS-1, CRS-2	Yapıştırma tabakasında

Tablo 4.3 devamı

RS-1, CRS-1, CRS-2	Sathi kaplamada
MS-2, SS-2	Soğuk karışımda

4.5 Asfalt Yolların Avantajları

- Trafik için düzgün ve gürültüsüz bir yüzeye sahiptir.
- Kuru yolda yüksek kayma sürtünme katsayısına sahiptir.
- Üstten gelen yükü alt tabakalara yayarak iletir.
- Geçirimsiz yüzey sağlar.
- Kademeli inşaata uygundur.
- Bakım-onarım trafik altında yapıldığından servis yolu gerektirmez.
- Yapım ve onarımdan hemen sonra trafiğe açılabilir.
- Bilgi ve ekipman açısından ülkemizde yeterli deneyime sahip olunmuştur.
- Uygulaması ve bakım-onarımı kolaydır.

4.6 Asfalt Yolların Dezavantajları

- Viskoelastik özelliği sayesinde ağır trafik yükleri altında ve sıcak iklim koşullarında viskoz davranış göstererek kalıcı deformasyona uğrar.
- Koyu rengi nedeniyle gece görüş zorluğu yaratır
- Ülkemizde özellikle soğuk ve yağışlı iklime sahip bölgelerde inşaat mevsimi kısadır.
- Asfalt kaplamaların bağlayıcısı olan bitümün üretildiği petrol, büyük oranda ithal edilmektedir.
- Rafinerilerin konumları itibariyle nakliye mesafe ve maliyetleri fazladır.
- Bağlayıcının viskozitesinin düşürülmesi için ısıtma zorunluluğu olması nedeniyle fazla enerjiye gerek duyar ve yüksek ısılara çıkıldığında yanma ve parlama riski vardır.
- Taşıtlardan sızabilecek olan yakıt, yağ ve kimyasal maddeler yol yüzeyine düşerek bitümün bağlayıcılık özelliklerinin azalmasına sebep olup, kaplamaya zarar vermektedir (Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği, b.t.).

- Özellikle düşük aşınma dayanımına sahip agregalar kullanılması durumunda cilalanmaya uğrayarak makrodokusu kaybolur ve özellikle yağışlı havalarda su kızağına neden olarak fren mesafesi artar. Bu durum sürüş güvenliğini azaltır.
- Beyon yollara göre yuvarlanma direcinin yüksek olması sebebiyle araçların yakıt tüketimini artırır.

4.7 Türkiye’de Asfalt Yol Uygulamaları

Ülkemizde asfalt üretimi 1955 yılında kurulan Batman Petrol Rafinerisi ile başlamış ve Mersin, Aliaga, İzmit ve Kırıkkale rafineleri ile devam etmiştir. Buna rağmen ülkemizde kullanılan ham petrolün büyük bir oranı yurt dışından ithal edilmektedir.

Ülkemiz yol ağı uzunluklarına bakıldığında ise karayolunun yolcu ve yük taşımacılığı için ilk tercih olmasına rağmen, ülke büyüklüğüne oranı açısından birçok ülkenin gerisinde kalmaktadır. 2017 istatistiklerine göre karayolları; yolcu taşımacılığında %88,8, yük taşımacılığında ise %90’lık bir orana sahiptir (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2018b).

1950’li yıllarda benimsenen kalkınma modeli sayesinde başta İstanbul olmak üzere büyük şehirler hızlı bir şekilde göç almaya başlamış, böylece çarpık kentleşme sorunu baş göstermiştir. Buna paralel olarak artan ulaşım ve taşımacılık ihtiyacı ise KGM’nin kuruluşuna ve karayolları ağının genişlemesine sebep olmuştur (Şenol, 2010).

4.8 Bitümlü Sıcak Karışım Yüzeylerin Hazırlanması

Sıcak karışım asfaltın performansı, üstyapı tabakalarının serileceği yüzeyin durumuyla direkt ilişkilidir. Tamamının asfalt tabakalarından oluştuğu üstyapı tipinde, eğer taban zeminin durumu zayıf ise, yolun nihai ömrü önemli derecede düşebilir. Yeni bağlayıcısız granüler temel tabakasının üzerine serilecek olan sıcak karışım asfalt tabakaları için, temel malzemesi stabil ve yüzeyi kuru olmalıdır. Yüzey, serici veya karışımı taşıyan kamyonlarca bozulmuş olmamalıdır. Mevcut asfalt kaplamanın

üstüne serilecek olan karışımlar için ise, yüzey iyi bir şekilde hazırlanmalıdır: Çukurlar doldurulmalı, çatlaklar dolgu malzemesi ile yalıtılmalı ve yüzey temizlenmelidir. Ayrıca, mevcut üstyapı yüzeyi ile yeni serilecek asfalt arasındaki bağlantıyı sağlamak için yapıştırma tabakası kullanılmalıdır.

4.8.1 Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalar İçin Alt Tabakaların Hazırlanması

4.8.1.1 Üstyapı Tabanı

Asfalt kaplama direkt olarak üstyapı tabanı üzerine serilecekse, bu taban malzemesi, su içeriği, yoğunluk, yapısal dayanım açısından uygun şartlara sahip olmalı ve kaplamanın uygulanabilmesi için belli bir yüzey düzgünlüğünü de sağlaması gereklidir. Bir üst tabakanın serimi için üstyapı tabanının hazır olduğu saptandıktan sonra ve serim başlamadan önce, oluşturulan üstyapı tabanının inşaat trafiğinin ağırlığını taşıyabilecek güçte olup olmadığı ayrıca kontrol edilmelidir. Asfalt serimi başlamadan önce, mutlaka sağlam bir üstyapı tabanı teşkil edilmelidir. Serim işlemi sırasında tabanda bozulmalar oluşursa, taban düzeltilinceye kadar asfalt serimi durdurulmalıdır.

Genellikle üstyapı tabanı üzerinde bitüm emülsiyonu veya sıvı petrol asfalttan yapılan bir astar tabakası sermeye gerek yoktur. Ancak, özellikle üstyapı tabanında kullanılan toprak siltli kil veya kil olduğu zaman astar uygulaması doğru olur. Çünkü astar malzemesi taban toprağı tarafından absorbe edilemez. Kumlu taban zeminleri üzerine astar tabakası kullanımının gerekliliğı halen tartışılmaktadır. Nakliye kamyonlarının tekerlekleri altında aşırı derecede kumlu malzeme bulunması halinde tabanın gerekli yük taşıma özelliklerini sağlayabilmesi için, serimden önce taban toprağının bağlayıcı malzemelerin bazı tipleriyle stabil hale getirilmesi gereklidir. Bu tür durumlarda, serim işlemi sırasında kumlu zemini yerinde tutmak için astar tabakası genellikle yeterli olmayacaktır. Astar ancak iyi bir şekilde hazırlanmış taban zemininin üzerinde kullanılabilir.

4.8.1.2 Granüler Temel Tabakası

Asfalt tabakası yeni veya mevcut bir bağlayıcısız granüler temel tabakası üzerine direkt olarak inşa edilecekse, bu temel malzemesi, su içeriği, yoğunluk ve yapısal dayanım açısından gerekli şartları sağlamalı ve serilecek tabakaya düzgün bir yüzey oluşturmaktadır. Eğer granüler malzeme şartları uygun değilse, serim için uygun koşullar sağlanıncaya kadar temel tabakası stabil hale getirilmelidir.

Astar, temel tabakasını korumak ve serimden önce yağmur esnasında aşırı derecede su emmesini önlemek amacıyla kullanılan geçici bir sızdırmazlık tabakasıdır. Asıl amacı altındaki malzemeyi nemli havadan korumaktır. Yağmur yağmadan önce alttaki malzeme asfalt tabakası ile kaplanabilirse, astar uygulamasına gerek yoktur. Bir astar uygulamasında, serim başlamadan en az 48 saat önce bitümlü malzeme, bir distribütör ile temel tabakası üzerine yayılır. Genellikle bir sıvı petrol asfaltı (MC 30 veya MC 70) astar malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca, bitüm emülsiyonu da başarıyla uygulanabilir. Temel tabakası yüzeyinin gözenekliliğine bağlı olarak uygulama hızı değiştirilmelidir. Genellikle uygulama hızı, çok sıkı bir yüzey için 0,65 lt/m² veya daha az, çok gözenekli bir yüzey için ise 1,8 lt/m² 'ye kadar artmaktadır. Çok fazla astar malzemesi uygulanmamalıdır, serilen astar malzemesi granüler temel malzemesince 24 saat içinde tam olarak absorbe edilebilmelidir. Astar malzemesinin hepsi tam olarak absorbe edilmemişse, fazla astar malzemesi kum ile kurutulmalı veya ortadan kaldırılmalıdır.

4.8.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Serimi

Serme işlemi yolun plan, profil ve kesitlerine uygun olarak tekerlekli veya paletli sericilerle (finişer) yapılmaktadır. Sericiler çekici ve serici ünitelerinden oluşur. Çekici ünitesi, sıcak karışım asfaltı hazneye boşaltan kamyonu iter ve serici ünitesini çeker. Kamyonlar, malzemenin dorseye yapışmaması için, plentte yüklenmeden önce yağlanmalıdır. Serim işleminin sürekli olabilmesi için yanaşan kamyon ve finişerin birbirlerine olabildiğince yakın ve aynı hızda gitmesi gereklidir. Makine ile serilmesi mümkün olmayan yerlerde malzeme elle serilmektedir. İstenen kaplama özelliklerinde

imalat yapmak için finişerlerde kalınlık, eğim ayarları, duyargalar ve vibratör bulunmaktadır. Vibrasyonun frekansı, malzemeyi karıştıran bıçakların çalışma hızı, malzeme tipi, sıcaklığı ve serme hızı optimum olduğu sürece sıkışmanın % 80 - 95'i tamamlanabilmektedir.

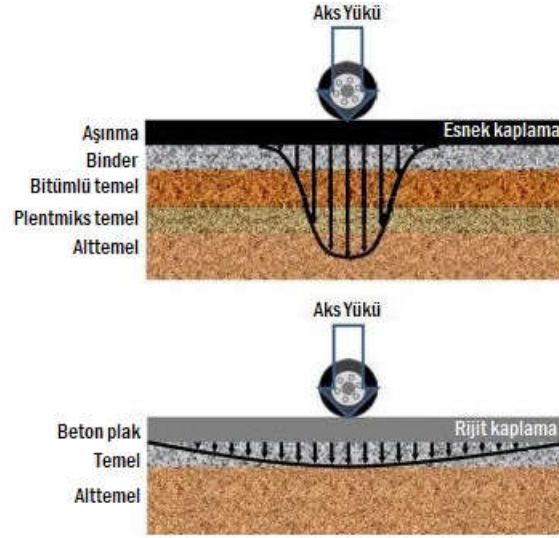
4.8.3 Bitümlü Sıcak Karışımların Sıkıştırılması

Sıkıştırma dolgu ve kaplama aşamasında büyük önem arz eder. Bu aşamalarda yapılan hatalar etkisini uzun vadede ancak dramatik olarak gösterir. Sıkıştırmaya; karışımın vizkozitesi, ısısı, sıkıştırma ekipmanının tipi, tabaka kalınlığı, asfalt yüzdesi gibi etmenler büyük etkide bulunmaktadır.

Sıkıştırma ekipmanı olarak demir bandajlı silindir, lastik tekerlekli silindir ve vibrasyonlu silindir olmak üzere üç yaygın silindir kullanılmaktadır. Silindirlerin her bir noktaya eşit sıkıştırma uygulayabilmesi için operatörlerin belli bir düzen tatbik etmesi gerekmektedir.

4.9 Karayolu Üstyapılarının Tasarımı

Her geçen gün artan taşıt ve ağır taşıt trafiğine göre yol ağlarımız ne yazık ki aynı hızla artmamaktadır. Gelişmiş ülkelerin karakteristik bir özelliği olan gelişmiş yol ağları; yalnızca yol ağının genişlemesi ile değil, aynı zamanda taleplere cevap verebilen bir kalitede yol üstyapılarına sahip olmaktır. Bu nedenle yol üstyapılarında belirli bir standardı sağlamak ve artan trafik yüküne çözüm ararken ekonomi de ön plana çıkmaktadır. İstenen yol üstyapısının en ekonomik hali ise optimum üstyapı tasarımı sayesinde mümkündür. Rijit ve esnek üstyapı türleri ve bu türlerin yapım aşamaları önceki bölümlerde ayrı ayrı belirtilmiştir. Bu yüzden bu başlık altında sadece üstyapılarda kullanılan kaplamaların yük aktarım şekilleri ve kalınlıkları üzerinde durulacaktır.



Şekil 4.1 Kaplamaların tabakaları ve yükü iletmesi

Kaplama kalınlığını özellikle servis ömrü boyunca karşılaşılabilecek trafik yükü, taban zemininin taşıma gücü, iklim özellikleri ve üstyapıda kullanılacak malzemelerin özellikleri belirler. Aynı trafik yükü altında beton yolların gerektirdiği toplam üstyapı kalınlığı, asfalt yollara göre daha incedir. Özellikle zayıf zeminlerde daha da artan esnek kaplamaların üstyapı kalınlıkları yolun maliyetini de olumsuz yönde etkilemektedir. Rijit üstyapıların, esnek üstyapılara göre zayıf zemin üzerinde daha az kalınlıkta beton plak ve temel gerektirdiği bilinmektedir. Bunun nedeni ise betonun yüksek elastisite modülü sebebi ile yükün bir kısmını karşılaması ve kayma demirleri ve agregalar arası kayma direnci sayesinde komşu plaklar ile paylaşmasıdır. Şekil 4.1’te görüldüğü gibi esnek üstyapılar üzerine gelen yükü noktasal bir şekilde temele aktarırken, rijit üstyapılar plak genişliği boyunca yayılı yük olarak aktarmaktadır.

BÖLÜM BEŞ

BETON VE ASFALT KAPLAMALARIN ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 Çimento Üretiminde Ortaya Çıkan Toz ve Gazların Limit Değerleri

Çimento üretimi; dünya üzerinde antropojenik CO₂ emisyonlarının %5'i oluşturmaktadır. Bu nedenle tüm dünyada olduğu gibi çimento üretiminde ilk 5'te olan ülkemizde de sektörün çevreye etkileri mercek altına alınmıştır. Bu etkilerin sistematik ve detaylı olarak değerlendirilmesi için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) gereklidir. Bu çalışmada kullanılan YDD'nde CO₂ emisyonları bir ton CEM-I tip çimento başına düşen kg/Nm³ olarak ifade edilmiştir. CEM-I tip çimento seçilmesinin nedeni ise Türkiye'de en çok tercih edilen çimento tipi olmasıdır. Bu tipin 1 tonunun üretilmesi sırasında 1.165 kg/Nm³ CO₂ açığa çıkmaktadır. Bu emisyonun yaklaşık olarak %94'ü kalsinasyon işlemi, %5'i kullanılan yakıt ve %1'i ise ham maddenin çıkarılması ve nakliyesi kaynaklıdır.

Atık yakıtların bitki ve hayvan yaşamını, kısacası doğayı olumsuz yönde etkilediği aşîkardır. Çimento üretimi sırasında, klinker pişirme işlemi artık yakıtların kullanılması için gayet uygundur. Çimento üretiminde kullanılan fosil yakıtlara alternatif olarak Atıktan Türetilmiş Yakıtlar (ATY) kullanılmaktadır. Bu yakıt türü kullanılmış lastik, atık yağlar, solventler, arıtma çamurları, ambalaj atıkları vb. atıklar ile oluşturulmaktadır. Yapısında bulundurduğu bu atıklar nedeniyle, tehlikeli maddeleri emisyon olarak atmosfere salmış olacaktır. Bu nedenle bacalarda filtre bulunması, gerekli önlemlerin ve kontrollerin yapılması esastır.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009) gereği çimento fabrikaları için her 5 yılda bir Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yönlendirmesiyle Valilik, üretici tarafından sağlanan raporları inceleyerek yerinde ölçümler yapmakta ve uygunsuzluk yok ise Çevre İzin Belgesi vermektedir. Bu belgeyi alan işletmeler, aynı yönetmelikte Ek-8 Liste A'da yer aldığından Emisyon Raporu için yine bakanlık tarafından akredite edilmiş laboratuvarlar tarafından 2 yılda bir emisyon, PM₁₀ ve

Çöken toz ölçümleri yapmak için fabrikada denetlenmektedir. Aynı zamanda bacalardaki emisyon çıkışları da her yarım saatte bir olarak günde 48 defa online olarak ölçülmektedir. Yine aynı yönetmeliğin Ek-5 C maddesi, 7 bendine göre ölçümü ve kontrolü yapılacak olan emisyonların sınır değerleri ise aşağıda belirtildiği gibidir.

5.1.1 Toz

Çimento fabrikalarının en büyük çevre problemidir. Bacadan çıkan tozların yanı sıra ocak işletmesi ve malzemelerin açık alanda stoklanması da toz emisyonuna sebep olabilir.

Toz emisyonu için sınır değeri baca için 50 mg/Nm³ 'tür. Değerler için Bakanlıkça %110'luk bir tolerans belirlenmiş ve yıllık %97 uyum gerektirmiştir. Buna göre yılda 330 gün çalışan bir işletme için:

$$\frac{330 \text{ gün}}{\text{yıl}} \times \frac{48 \text{ ölçüm}}{\text{gün}} = \frac{15.840 \text{ ölçüm}}{\text{yıl}} \quad (5.1)$$

$$\frac{15.840 \text{ ölçüm}}{\text{yıl}} \times (0,03 \text{ uyumsuzluk}) = \frac{475,2 \text{ uyumsuz ölçüm}}{\text{yıl}} \quad (5.2)$$

$$\frac{475,2 \text{ uyumsuz ölçüm}}{\text{yıl}} \div \frac{48 \text{ ölçüm}}{\text{gün}} = \frac{9,9 \text{ gün}}{\text{yıl}} \quad (5.3)$$

şeklindeyir. Böylece bu tesiste 1 yılda toplamda 10 gün boyunca yapılan ölçümlerde çıkan toz emisyonu 55 mg/Nm³ olabilir.

5.1.2 SO₂

Fırında oluşan SO₂ ve CaO sıcaklık altında Kalsiyum Sülfatı oluşturur. Açığa çıkan SO₂'nin büyük bir yüzdesi ham madde olarak tekrar fırına gönderilir, bu yüzden SO₂ emisyonu yok denecek kadar azdır. Bu yüzden çimento üretim tesislerinin ve çimento üreticilerinin genellikle sınır değeri dışında SO₂ salınımı ile ilgili bir problemleri bulunmamaktadır. Sınır değeri 300 mg/Nm³ tür.

5.1.3 kNO_x

Yakıtta bulunan nitrojenin oksidasyonu ile NO_x oluşur. NO (renksiz, toksik) ve NO_2 (kırmızı renkli, toksik) gazları çıkış gazlarında en fazla bulunan azotlu bileşiklerdir. NO_x emisyonun azaltılması için çeşitli yöntemler kullanılır. Yanma havasındaki azot oksijenle reaksiyona geçmesiyle ve yakıtta bulunan azotun oksijenle reaksiyona geçmesi sonucu açığa çıkan NO_x hava kalitesi indeks hesaplamalarında 5 temel kirleticiden biridir.

NO_x atmosferde nitrik asit (HNO_3) oluşuma sebep olan reaksiyonlara girer ve asit yağmurlarının oluşmasına sebep olur, yerleşim yerlerinde dumanlı sis oluşturarak astım, alerji ve akciğer rahatsızlıklarına neden olur.

NO_x emisyonu için sınır değer yeni tesisler için 800 mg/Nm^3 iken mevcut tesisler için 1.300 mg/Nm^3 tür. Değerler için Bakanlıkça %110'luk bir tolerans belirlenmiş ve yıllık %95 uyum gerektirmiştir. Buna göre yılda 330 gün çalışan bir işletme için:

$$\frac{330 \text{ gün}}{\text{yıl}} \times \frac{48 \text{ ölçüm}}{\text{gün}} = \frac{15.840 \text{ ölçüm}}{\text{yıl}} \quad (5.4)$$

$$\frac{15.840 \text{ ölçüm}}{\text{yıl}} \times (0,05 \text{ uyumsuzluk}) = \frac{792 \text{ uyumsuz ölçüm}}{\text{yıl}} \quad (5.5)$$

$$\frac{792 \text{ uyumsuz ölçüm}}{\text{yıl}} \div \frac{48 \text{ ölçüm}}{\text{gün}} = \frac{16,5 \text{ gün}}{\text{yıl}} \quad (5.6)$$

böylece bu tesiste 1 yılda toplamda 17 gün boyunca yapılan ölçümlerde çıkan NO_x emisyonu 880 mg/Nm^3 olabilir.

5.1.4 Ağır Metaller

Kullanılan ham madde ve yakıtlarda bulunabilir. Bu maddeler klinkerleşme işlemi sırasındaki yüksek sıcaklıklarda uçucu bileşikler oluşturur. Bu bileşikler fırın içerisindeki gazlarla sürüklenerek, daha düşük sıcaklıkta olan farin üzerinde tekrar yoğunlaşır ve fırına geri döner. Böylece bu bileşiklerin büyük bir kısmı klinker içerisinde kalır.

5.1.5 CO₂

En önemli sera gazı olan CO₂'nin %5 - 6'sı, çimento üretiminden kaynaklanmaktadır. Bu oran, çimento üretiminin atmosferdeki CO₂ oluşumunu büyük ölçüde tetiklemekte olduğunu göstermektedir.

Çimento üretiminde bir çok aşamada sera gazı emisyonu ortaya çıkmasına rağmen bunların çoğu uluslararası kuruluşlarca gözardı edilebilecek kadar ufak etkilidir. Bu yüzden bu çalışmada; çimentonun üretiminden, beton olarak yola serilmesine kadar olan, beton yol yapım sürecinde, en çok sera gazı emisyonu gözlenen aşamalar üzerinde durulacaktır. Bunlar:

- Çimento üretimi,
- Agregat üretimi,
- Portland Çimento Betonu üretimidir.

CO₂ emisyonunun, %60'ı kireçtaşının dekarbonizasyon reaksiyonu ve %40'ı ısı enerjisini karşılayan yakma işlemi sırasında açığa çıkar. Dekarbonizasyon denklemi:



CO₂ emisyonları için emisyon miktarı gözlenir, raporlanır ve bakanlıkça onaylanır; bu MRV (Monitoring, Reporting, Verifying) yöntemidir. CO için ise çimento fabrikaları için belirtilen herhangi bir sınır değeri yoktur ancak 50 kg/saat değerini aşan salınımlarda, tesisin sürekli kontrol sistemiyle donatılması gerekiyor. 2019 yılından sonra yürürlüğe girmesi beklenen yeni yönetmelik ile tesislerden saldıran CO₂ emisyonu kadar vergi alınması gündemdedir.

5.1.6 PM₁₀

Sınır değerleri; baca dışından alınan ölçümler için (Ek-1 b.2.2) 3 mg/Nm³'tür.

5.2 Bitümlü Bağlayıcı ve Asfalt Üretiminde Ortaya Çıkan Toz ve Gazların Limit Değerleri

Bitümlü yol yapım maddelerinin üretildiği ve işlendiği tesisler ve asfalt üretim tesisleri için ise yine Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009)’ne göre her 5 yılda bir Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yönlendirmesiyle Valilik, üretici tarafından sağlanan raporları inceleyerek yerinde ölçümler yapmakta ve uygunsuzluk yok ise Çevre İzin Belgesi vermektedir. Bu belgeyi alan asfalt üretim tesisleri, aynı yönetmeliğin Ek-8 Liste B’de yer alarak Emisyon Raporu için yine bakanlık tarafından akredite edilmiş laboratuvarlar tarafından 3 yılda bir emisyon, PM₁₀ ve çöken toz ölçümleri yapmak için fabrikada denetlenmektedir. Yine aynı yönetmeliğin Ek-5, N maddesine göre tesislerin sağlaması gereken emisyon değerleri aşağıdaki gibidir.

Bu başlık altındaki gaz ve tozlar; İzmir ilinde faaliyet gösteren bir asfalt plantinden elde edilen ve yönetmelik gereği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından akredite edilmiş bağımsız denetleyici kuruluşun ölçüm raporlarında ölçülen parametreler kullanılarak oluşturulmuş ve sınır değerleri Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009)’den alınmıştır.

5.2.1 Toz

Asfalt üretim tesislerindeki yanma gazlarındaki CO₂ oranının %4 olduğu düşünüldüğünde (Ek-5 N), plantin bacalarından çıkan atık gazlardaki toz emisyonu 50 mg/Nm³ değerini aşmamalı ve bu gazlar 12 m yüksekliğindeki bir bacadan atmosfere atılmalıdır. Değerler için Bakanlıkça %110’luk bir tolerans belirlenmiş ve yıllık %97 uyum gerektirmiştir. Buna göre yılda 330 gün çalışan bir işletme için aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{330 \text{ gün}}{\text{yıl}} \times \frac{48 \text{ ölçüm}}{\text{gün}} = \frac{15.840 \text{ ölçüm}}{\text{yıl}} \quad (5.8)$$

$$\frac{15.840 \text{ ölçüm}}{\text{yıl}} \times (0,03 \text{ uyumsuzluk}) = \frac{475,2 \text{ uyumsuz ölçüm}}{\text{yıl}} \quad (5.9)$$

$$\frac{475,2 \text{ uyumsuz ölçüm}}{\text{yıl}} \div \frac{48 \text{ ölçüm}}{\text{gün}} = \frac{9,9 \text{ gün}}{\text{yıl}} \quad (5.10)$$

Böylece bu tesiste 1 yılda toplamda 10 gün boyunca yapılan ölçümlerde çıkan toz emisyonu 55 mg/Nm³ olabilir.

Asfalt hazırlanması ve bitümün kullanıldığı benzeri işlemler için ise toz emisyonu sınır değeri, doğal gaz yakıtlı, ısı gücü 100 MW'ın altındaki gaz yakıtlı kazan bacaları (Ek-5 A.5) için 10 mg/Nm³ 'tür.

Kütlesel debilere bakıldığında ise kazan bacalarında (Ek-3 d.2) sınır değeri 10 kg/saat, asfalt plenti bacalarında (Ek-2) 10 kg/saat ve bu bacaların dışında (Ek-2) ise 1 kg/saat'tir.

Hava kalitesi ölçümlerinde ise baca dışından alınan ölçümlerdeki değerlerin (Ek-1 b.2.2) 450 mg/m²-gün sınırını geçmemesi gereklidir.

5.2.2 Organik Buhar ve Gazlar

Ayrıca Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009) Ek-1'e göre 01.01.2014'ten itibaren organik buhar ve gazları içeren Tablo 7.2.2 Ek-7'de verilmiştir. Bu tablo ise bu çalışmada Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Organik buhar ve gazlar (Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2009)

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
- Asenaften - Asenaften - Akrilikasit - Akrilikasit etilesteri - Akrilikasit metilesteri - Akrolein (propenal) - Alkillendirilmiş kurşun bileşikler - Amino benzen	- Asetik asit - Asetik metil esteri (Metil asetat) - Asetik vinil esteri (Vinil asetat) - Asetonitril - Alkoletilen-oksit-fosfat esteri(c12/c14 monomerleri, dimerleri ve trimerleri)	- Aseton - Asetikasit etilesteri - Asetikasit n-butil esteri - Asetik ester - Asetilen - Alkilalkoller - 1-Brombütan - Bromklormetan

Tablo 5.1 devamı

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
- Amino etan (etil amin)	- 6-Aminoheksanoik asit	- 1-Brompropan
- Amino metan (metil amin)	(dimer)	- Ter-bütanol
- sec- amil asetat	- 6-Aminoheksanoik asit	- 2-Bütanon
- Anilin	(monomer)	- iso-Bütilasetat
- Asetaldehit	- 6-Aminoheksanoik asit	- n-Bütilasetat
- Asetik anhidrit	(trimer)	- Bütilstearat
- Aziridin (etilen imin)	- i- Amilasetat	- Dekametilsiklopentasiloksan
- Benzal klorür	- n- Amilasetat	(d5)
- Benzilbütilftalat	- Anisol	- Diasetonalkol
- Benzilklorür	- Benzaldehit	- Dibütil eter
- Benzo(g,h,i)perilen	- Benzilalkol	- 2,2-diklor-1,1,1-trifloreten
- Benzotriklorür	- Bisiklo(4,4,0)dekan	- 1,2-diklor-1,1,2-trifloreten
- Bisfenol A	- Bütanal	- 1,2-Dikloretilen
- 2,2 bis(4-hidroksifenil)	- n- bütanol	- Diklormetan
propan	- i- bütanol	- Dodesilmaleat
- Bromdiklormetan	- 2- bütanol	- Dietileter
- Bütilakrilat	- sec- bütanol	- Diizobüten
- 1,2 diaminmetan	- bütilglikol	- Diizopropileter
- 2,4-dibromfenol	- bütilglikol	- 2,3-dimetilbütan
- Dietilamin	- bütilglikolasetat	- Dimetileter
- Di-izobütilftalat	- bütilglikolat	- 1,2-Etandiol
- 1,2 diklorbenzen	- 3-bütoksi-1-propanol	- Etanol
- 1,1 dikloretilen	- 1-bütoksi-2-etilasetat	- Etanolamin
- Diklorofenoller	- 1-bütoksi-2-propanol	- Etilasetat
- Dimetilamin	- 2-bütoksietanol	- Etilklorür
- N,N dimetilanilin	- 2-(2-bütoksi-etoksi)-etanol	- Etilen
- Dimetilizopropilamin	- 2-(2-bütoksi-etoksi)-etilasetat	- Etilenglikol
- Dimetilmerkaptan	- Bütil laktat	- Etilformiat
- Di(2-metilpropil)ftalat	- n-bütilmetakrilat	- Etilmetilketon
- 1,4-dioksan	- Bütil alkol	- Etilen
- 1,2 diklorbenzen	- n-bütilaldehit	- Gliserol
- 1,1 dikloretilen	- Dekahidronaftalin	- Gilkol
- Diklorofenoller	- Dekalin	- Hekzafloraetan
- Dimetilamin	- Di(2-etilheksil)ftalat	- Hekzametilsiklo-trisiloksan
- N,N dimetilanilin	- 1,4- Diklorbenzen	(d3)

Tablo 5.1 devamı

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
- Dimetilizopropilamin	- 1, 1 - Dikloretan	- Hidrokarbonlar, olefinik
- Dimetilmerkaptan	- 1,2- diklorpropan	- Hidrokarbonlar, parafinik
- Di(2-metilpropil)ftalat	- Dietanolamin	- 4-Hidroksi-4-metil-2-
- 1,4-dioksan	- Dietilbenzen (1,2-;1,3-;1,4- izomerleri)	pentanon
- Dinonilftalat	- Dietilkarbonat	- İzobütanol-2-amin
- Distearildimetil-amonyum bisülfat	- Dietilenglikol bütileter	- İzobüten
- Distearildimetil- amonyum metasülfat	- Dietilenglikol monoetileter	- İzobütillen
- Etanal	- Dietiloksalat	- İzobütilmetilketon
- Etilakrilat	- 1,1- difloreten	- İzobütilstearat
- Etilamin	- 1,3- dihidroksi benzen	- İzodekanol
- Etilenimin	- Diizobütilketon	- İzopropanol
- Etilpropenoat	- Diizopropilbenzen	- 2-İzopropoksipropan
- Fenol	- N,N- dimetilasetamit	- İzopropil asetat
- Fenantren	- Dimetilaminoetanol	- Karbontetraflorür
- Formaldehit	- N,N- dimetilformamit	- Kloroetan
- Formik Asit	- 2,6- dimetil-heptan-4-on	- Sıvı parafin
- Furaldehit	- Dioktilftalat	- MEK (2-bütanon)
- Furfurol	- Dipropilenglikol monometileter	- Metanol
- Glioksal	- DOP	- 3-Metil-2-bütanon
- Heksafloropropen	- 2-Etoksietanol	- 4-metil-2-pentanon
- 1,6 Hekzandiizosiyanat	- 2-Etoksietilasetat	- 2-metil-2-propanol
- Hekzametilendiizosiyanat	- Etoksipropilasetat	- Metilsikloheksan
- İzopropil-3- klorfenilkarbomat	- Etil laktat	- Metilenklorür
- İzopropilfenilkarbamat	- Etilsilikat	- Metiletilketon
- Kaprolaktam	- Etil- α -hidroksipropionat	- Metilizobütilketon
- Karbontetraklorür	- Etilbenzen	- Metilizopropilketon
- Ketilprindinyumklorür	- Etildiglikol	- 2-metilpropen
- Klorasetaldehit	- Etilenglikol monoetileter	- Metilpropilketon
- Klorasetikasit	- Etilenglikol monometileter	- n-Metilprolidon
- 2-kloretanal	- Fenoksietanol	- MIBK (4-metil-2-pentanon)
- Kloroform	- Fenoksipropanol	- Alifatik hidrokarbonların karışımı
- Klormetan (metil klorür)	- Formik asit metilesteri	- Oktaflorpropan
	- Furfurilalkol	- Oktametsiklo- tetrasiloksan(d4)

Tablo 5.1 devamı

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
- α-klor toluen - Krezoller =hidroksi toluen - Merkaptanlar - Metil metakrilat - Metanal - Metil-(2-metil)-propinoat - Metilakrilat - Metilamin - 2-Metilanilin - 2-metilbromür - Metilklorür - Metiletilketonperoksit - Metilmetakrilat - Metilfenoller - Metilpropenoat - 2-Metoksietilasetat - Nitrobenzen - Organostannic bileşikler - Organik kalay bileşikleri - Perasetik asit - Piperazin - Piridin - Propenal - Propenoik asit - n-propilamin - Tehylheksilkrilat - Terfenil - 1,1-dimetiletilhidroperoksit - 1,2,3,4-tetrabrommetan - 1,1,2,2-tetrakloreten - Tetraklormetan - Tiyoalkoller - Tiyobismetan - Tiyoeterler - o-toluidin - Tribrommetan	- 2-Hidroksimetilfuran - 2,2'-İmindietanol - İsookumol - İzoforon - İz-oktil/nonil-fenil-polİglikol eter (5 etilen oksit kısımları ile) - İzopropenilbenzen - İzopropilbenzen - Limonen - Karbon disülfür - hintyağı etoksilat (15 etilen oksit kısımları ile) - 2-Klor-1,3-bütadien - Klorbenzenler - 2-klorpren - 2-klorpropan - Ksilen - 2,4-Ksenol (2,4-dimetilfenol) - Kümen - 1-metoksi2-propanol - 1-metoksi-2-propilasetat - 2-metoksietanol - 3-metoksietoksietanol - 2-metoksipropanol - 2-metoksipropilasetat - Metoksipropilasetatlar - 5-metil-2-hekzanon - 1-metil-3-etilbenzen - N-metilasetamit - Metilasetat - Metilbenzen - Metilkloroform - Metilsikloheksanon - Metilformat	- Penta-eritrol ve c9-c10 uçucu asit esterleri - Pentan - 2-Pentanon - 3-Pentanon - Petrol (benzin) - Mineral Petrol yağları - Pinenler - Potasyum oleat - 2-Propanol - Propanon - n-propenol - i-Propilasetat - Silikon yağı - Sikloheksan - $\alpha\alpha$-Terpinol - Tetraflormetan - Tridekanol (izomerlerin karışımı) - Tridesil alkol - Triflormetan - 2,4,4-Trimetil-1-penten - Trimetilbromat - Beyaz alkol

Tablo 5.1 devamı

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
- 2,4,6-tribromfenol - Trietilamin - Trifenilfosfat - 1,1,2-Trikloreten - Triklorfenoller - Triklormetan(Kloroform) - Ksenoller	- Metilglükol - Metilizoamilketon - α-metilstiren - Metil-tartar-bütileter (MTBE) - Aromatik hidrokarbon karışımları - Monoetileter asetat - 1,2- pentadiol - Perkloretilen - Propanal - 1,2- propandiol - Propanoik asit - Propanaldehit - Propionik asit - n-propilasetat - n-propilbenzen - Propilenglikol - Resorkinol - Sikloheksanol - Sikloheksanon - Sorbitalheksaoleat,etoksilat - Stiren - Tetrakloretilen - Tetraetil ortasilikat - Tetrahidrofuran - 1,2,3,4-Tetrahidronaftalin - Tetralin - 1,2,3,4-Tetrametilbenzen - 1,2,3,5-Tetrametilbenzen - 1,2,4,5-Tetrametilbenzen - Toluen - 1,1,1-Trikloreten - Trikloretilen TRI - Trietanolamin	

Tablo 5.1 devamı

I. sınıf	II. sınıf	III. sınıf
	- Trietilen tetramin - Trimetil benzen - Bitkisel yağ, sülfatı - Vinil asetat - Vinil benzen - Viniliden florür	

Bu tabloya göre buhar ve gaz emisyonları için sınır değerleri:

- I'inci sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu 20 mg/Nm³
- II'inci sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu 100 mg/Nm³
- III'üncü sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu 150 mg/Nm³
- I ve II'inci sınıfa giren gazların birlikte bulunması durumunda toplam emisyon konsantrasyonu 150 mg/Nm³
- I ve III'üncü, II ve III'üncü veya I, II ve III'üncü sınıfa giren gazların birlikte bulunması durumunda toplam emisyon konsantrasyonu 300 mg/Nm³

5.2.3 SO₂

SO₂ sınır değerleri kazan bacaları (Ek-5 A.5) için 100 mg/Nm³ iken asfalt plenti bacası için sınır değeri belirtilmemiştir.

Kütlesel debilere bakıldığında ise kazan bacalarında (Ek-3 d.2) sınır değeri 60 kg/saat, asfalt plenti bacalarında (Ek-2) 60 kg/saat ve bu bacaların dışında (Ek-2) ise 6 kg/saat'tir.

5.2.4 kNO_x

NO_x emisyonu için sınır değeri kazan bacaları (Ek-5 A.5) için 800 mg/Nm³ 'tür.

Kütlesel debilerde ise kazan bacalarında sınır değeri NO için 50 kg/saat, asfalt plenti bacalarında (Ek-2) NO₂ için 40 kg/saat ve bu bacaların dışında (Ek-2) ise NO₂ için 4 kg/saat'tir.

5.2.5 CO

CO emisyonunun sınır değeri kazan bacaları (Ek-5 A.5) için 100 mg/Nm³ iken asfalt plenti bacası için sınır değeri belirtilmemiştir.

Kütlesel debilere bakıldığında ise kazan bacalarında (Ek-3 d.2) sınır değeri 5 kg/saat, asfalt plenti bacalarında (Ek-2) 500 kg/saat ve bu bacaların dışında (Ek-2) ise 50 kg/saat'tir.

5.2.6 PM₁₀

PM₁₀ emisyonunun sınır değerleri hava kalitesi ölçümlerinde; baca dışından alınan ölçümler için (Ek-1 b.2.2) 3 mg/Nm³ 'tür.

BÖLÜM ALTI

YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ VE METOD

Bu çalışmada ülkemizde yaygın olarak kullanılan esnek yol üstyapıları ve kullanımı gittikçe artan ve artması için çalışmalar yapılan rijit yol üstyapıları, neden oldukları emisyonlar açısından karşılaştırılmıştır. Esnek ve rijit yol üstyapılarının ham madde üretiminden, servis ömürleri sonuna kadar olan tüm süreçlerini değerlendiren çalışma bu yönüyle özgündür. Çünkü çimento ve asfalt üretimi gibi sadece bazı üretim süreçlerinin neden olduğu emisyonların ölçüldüğü veya hesaplandığı çalışmalar yapılsa da iş makinelerini ve tüm süreçleri dahil eden bir çalışma ülkemizde yapılmamıştır. Türkiye'deki çimento ve BSK üreticilerinden alınan emisyon ölçüm sonuçları kullanılması ve gerekirken, işletmelerden taş ocağının ve asfalt plentinin ölçüm sonuçları paylaşılmış olsa da, çimento üreticisi olan işletme emisyon ölçüm sonuçlarını tarafımızla paylaşmamıştır. Daha sonra 01.05.2018 tarihinde Bilgi Edinme Hakkı Kanunu dahilinde dönemin adı ile BİMER üzerinden Çevre ve Şehircilik İzmir İl Müdürlüğü'nden bu değerler istenmiştir ancak 3. taraflar ile paylaşamayacağı cevabı alınmıştır. Bunun üzerine bu değerler; literatür araştırması sonucu ulaşılan Amerika Birleşik Devletleri'nden Eco-decision Making for Pavement Construction Projects Lin (2012) ve Avrupa'dan Life Cycle Assesment for Road Construction and Use Milachowski, Stengel ve Gehlen (2011) çalışmalarından alınmıştır. Bu çalışmaların seçilmesinin nedeni ise girdi verilerini bir çok güvenilir veri kaynağından almış olmalarıdır. Bu çalışmalara ulaşırken, öncelikle literatür taraması yapılarak, daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmalardan elde edilen hava emisyonu değerleri kullanılarak beton ve asfalt kaplamalı yollar için; toplam CO₂ ve PM₁₀ değerlerine ulaşmak hedeflenmiştir. Bu nedenle, beton yol ve asfalt yol yapım süreçleri incelenerek, her bir aşamada açığa çıkan gaz ve toz emisyonlarının neler olduğu belirlenmiştir. Beton ve asfalt kaplamalı yol inşaatında kullanılan ham maddelerin üretiminden, kaplamanın yapım süreci, bakım çalışmaları ve servis ömrü sonunda kaplamanın yerinden kaldırılmasına kadarki süreçte açığa çıkacak olan toplam CO₂ ve PM₁₀ emisyon değerleri bulunarak, diğer sera gazları da Küresel Isınma Potansiyeli, GWP (Global Warming Potential) yardımı ile CO₂-e (CO₂ eşdeğeri) şeklinde ifade edilmiştir.

GWP farklı gazların küresel ısınmaya olan etkilerinin karşılaştırılması için geliştirilmiştir. Basitçe; belirli bir zaman aralığında -genellikle 100 yıl- belirli bir sera gazının atmosferde tutabileceği ısı enerjisinin, yine aynı zamanda CO₂'in atmosferde tutabileceği ısı enerjisine oranı şeklinde açıklanabilir. Böylelikle GWP değeri daha büyük olan gazlar, atmosferi aynı miktardaki CO₂'e göre daha fazla miktarda ısıtırlar.

CO₂-e bir kaynaktan atmosfere salınan tüm sera gazlarını (Kyoto Protokolü'ne göre; CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) ortak bir paydada toplayabilmek ve karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Bu paydanın CO₂ seçilmesinin nedeni ise son 100 yıllık küresel ısınmanın %75'inden sorumlu olmasıdır. Özellikle hem CO₂ hem de CO₂-e'nin hesaplanmasının nedeni ise; tüm sera gazı emisyonlarının, küresel ısınmanın başrolü olan CO₂ cinsinden karşılaştırılmasını sağlamak, daha az CO₂ salsada, CO₂-e dönüşümüyle çevreye daha zararlı olan süreçlere ve nihayetinde bu çalışma açısından daha az zararlı olan kaplama türüne karar vermektir (TÜKÇEV, 2014).

Tablo 6.1 United States Environmental Protection Agency tarafından belirlenen sera gazlarının GWP değerleri (EPA, 2017)

Sera gazı	Bileşik adı	GWP (100 yıllık)
CO ₂	Karbondioksit	1
CH ₄	Metan	25
N ₂ O	Nitröz oksit	298
HFC	Hidroflorür karbonlar	3.985 – 14.800
PFC	Perflero karbonlar	7.390 – 12.200
SF ₆	Sülfürhekza florid	22.800

Tablo 6.1'de görüldüğü gibi CO₂'in GWP'ı 1'dir. Buna göre, CO₂ ile aynı miktarda atmosfere salınan, sırasıyla Metan 25 kat, Nitröz oksit 298 kat, Hidroflorür karbonlar en fazla 14.800 kat, Perflero karbonlar en fazla 12.200 kat ve Sülfürhekza florid en fazla 22.800 kat daha fazla enerji absorbe etme kapasitesine sahiptir. Buna bağlı olarak da küresel ısınmaya olan katkıları da aynı miktarda daha fazladır.

GWP değerleri sayesinde birbirinden farklı sera gazlarının etkilerini karşılaştırma imkanı bulunmaktadır. Örneğin atmosfere salınan 1.000 ton CH₄, 100 ton N₂O'dan daha az zarar vermektedir. Bu durum aşağıdaki işlemlerle kolayca açıklanabilir:

$$1.000 \text{ t CH}_4 \times 25 = 25.000 \text{ t CO}_2\text{-e} \quad (6.1)$$

$$100 \text{ t N}_2\text{O} \times 298 = 29.800 \text{ t CO}_2\text{-e} \quad (6.2)$$

$$25.000 \text{ t CO}_2\text{-e} < 29.800 \text{ t CO}_2\text{-e} \quad (6.3)$$

Bazı durumlarda gazların yakılması, salınmasından daha az CO₂-e açığa çıkarmaktadır. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse; 1 ton CH₄ yakıldığında ortaya 2,74 ton CO₂ açığa çıkmaktadır. Böylelikle salınması halinde 25 ton CO₂-e olarak atmosfere karışacak olan CH₄ gazı, yakılmasının ardından sadece 2,74 ton CO₂-e açığa çıkarmış olacak ve buradaki 22,26 tonluk azalma, bu örnekteki sera gazı emisyonunun çevreye olan zararında %89 azalmaya sebep olacaktır.

Beton ve asfalt kaplamaların karışım tasarımları birbirinden farklıdır. Ayrıca kendi içlerinde dahi çok farklı cinslere, sınıflandırmalara, işlenebilirliklere vb. sahiplerdir. Tasarımların belirlenmesinde yolun trafik yükü, servis ömrü ve maliyet etmenleri çok önemlidir. Bu nedenle bu iki kaplama türünü objektif bir şekilde karşılaştırabilmek için çalışmaların eşit trafik yoğunluğu ve servis ömrü için yapılmış olması gerekmektedir.

Literatür taraması sonucu Eco-decision Making for Pavement Construction Projects Lin (2012) ve Life Cycle Assesment for Road Construction and Use Milachowski ve diğer. (2011) çalışmaları karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. Bu çalışmaların seçilme nedenleri ise bir çok güvenilir veri kaynağı kullanmalarıdır.

Lin (2012) çalışmasında Roadprint adı verilen, MS Excel tabanlı bir yaşam döngüsü değerlendirme programı kullanılmaktadır. Bu programa girilen proje (yol dizaynı ve ölçüleri), ham madde (kaplamada kullanılacak olan karışım tasarımı) ve ekipman (kapasite, çalışma saati ve verimlilik) bilgileri sonucu enerji tüketimi ve GWP değerleri elde edilebilir. Yapılan çalışmada; söz konusu projenin servis ömrünün 50

yıl, servis ömrü boyunca trafik yükünün 25 – 50 milyon taşıt, yol uzunluğunun 1,609 km (1 mil), genişliğinin 3,6 m, nakliye mesafelerinin 50 km olduğu ve bakım-onarımın sadece asfalt kaplama için, servis ömrü boyunca 3 kere 4,5 cm’lik aşınma tabakasının yenilenmesi şeklinde yapılacağı kabul edilmiştir.

27,5 cm BSK ve 17,5 cm kırmataş temel kullanılan esnek üstyapı tasarımı, ağırlıkça %5 bitüm, %10 ince agrega, %85 kaba agrega şeklinde iken; 27,5 cm Portland Çimentosu Betonu (PÇB), 10 cm BSK ve 10 cm kırmataş temel kullanılan rijit üstyapı tasarımı ise %20 uçucu kül içeren 28 günlük dayanımı 25 N/mm² şeklindedir. Bu tasarım Washington Eyaleti Ulaştırma Departmanı (WSDOT)’nın kaplama standartlarına göre yapılmış olduğundan, servis ömrü boyunca 5 milyondan fazla taşıt trafiği olan her beton yolda 10 cm BSK temel bulunmak zorundadır. Ancak bu lokal bir uygulama olduğundan, literatürdeki çalışmalarda PÇB kaplamalı yollarda BSK temel bulunmamaktadır. Lin (2012) de bu çalışmada, girdi verilerinde belirtmese de, Roadprint programında BSK temel ve temel için gerekli iş makinelerinin emisyon faktörlerini hesaplamış ve analizde kullanmıştır.

Milachowski ve diğer. (2011) ise çalışmasında beton ve mastik asfalt kaplamalar için, yaşam döngüsü dengesini uluslararası standartlarda açıklayan ISO 14040’a göre SimaPro isimli yazılım ile YDD yapmıştır. 42.000 otomobil ve 10.000 ağır taşıttan oluşan 24 saatte 52.000 araç hacmine sahip otoyol tasarımında; güzergah uzunluğu 1 km, 2 şeritli, çalışılacak platform genişliği 14 m, ve servis ömrü 30 yıl olarak belirlenmiştir. Nakliye mesafeleri 50 km iken beton santrali uzaklığı 20 km’dir. Asfalt kaplama için 4 cm aşınma, 8 cm binder, 22 cm bitümlü temel ve 51 cm kırmataş temel (toplam üstyapı kalınlığı 85 cm) kullanılırken; beton kaplama için 27 cm dokulu CEM I çimentolu beton tabaka, jeotekstil ara tabaka, 15 cm hidrolik bağlayıcılı temel tabakası ve 43 cm kırmataş temel (toplam üstyapı kalınlığı 85 cm) kullanılmıştır. Her iki kaplama türü için de geri dönüştürülmüş malzeme kullanılmamıştır. Minimum bakım senaryosunda servis ömrü boyunca; asfalt kaplamanın aşınma tabakasının 2 kere, binder tabakasının ise 1 kere yenilendiği, dokulu yüzeyli beton yolda ise derzlerin 2 kere yenilendiği, %5 oranında diyagonal çatlağın onarıldığı, kaplamanın %1’inin kaldırılıp onarıldığı ve yine %1’inin yenilendi kabulü yapılmıştır.

Beton ve asfalt yolların malzemeleri olan Portland Çimento Betonu ve BSK'lar üretim, nakliye ve uygulama olarak ayrı ana süreçlerde incelenmiştir. Ana süreçler ve bu süreçler sırasındaki ara süreçlerde kullanılan iş makineleri de göz önüne alınmıştır. Bunlar; aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

Beton yol yapım aşamaları:

1. Yol güzergahının kazılması ve/veya sıkıştırılması,
2. Mıcır, kum-çakıl üretimi,
3. Portland çimentosu üretimi,
4. Agreg a ve çimento ikamesi (uçucu kül, cüruf gibi bağlayıcı malzemeye yardımcı ve konsantrasyonu düşüren ve kalıcılığı arttıran maddeler),
5. PÇB üretimi,
6. Donatı üretimi,
7. PÇB dökümü ve serimi,
8. Mevcut yol kaplamasının geri kazanımı (kaplamanın kırılması, toplanması ve taşınması dahil)

Asfalt yol yapım aşamaları:

1. Yol güzergahının kazılması ve/veya sıkıştırılması,
2. Mıcır, kum-çakıl üretimi,
3. Bitüm üretimi,
4. BSK üretimi,
5. BSK serimi ve sıkıştırılması,
6. Mevcut yol kaplamasının geri kazanımı (kaplamanın kırılması, toplanması ve taşınması dahil)

Yol güzergahının kazılması ve sıkıştırması grubunda ortak olarak; greyder, beko loder, ekskavatör ve loder, PÇB kaplama grubunda; beton serici, beton pompası, BSK kaplama grubunda; finişer, kamyon, ilk silindirajda kullanılan demir bandajlı vibrasyonlu silindirler ve son silindirajda kullanılan lastik tekerli silindirler ve kaplama kazıma grubunda ise asfalt kazıyıcı ve beton kırıcı vardır. Ancak çalışmalara mevcut kaplamanın kaldırılması, geri dönüştürülmesi ve/veya geri dönüştürülmüş

malzemenin yeni kaplamada kullanılması işlemleri dahil edilmemiştir. Nakliyelerde ise 20 ton kapasiteli kamyonlar kullanılmıştır. Beton veya asfalt yollar kazıma grubundaki ekipmanlar veya iş makineleri kullanılarak, mevcut beton veya asfalt yol kaldırılıp, yerine iki kaplamadan herhangi bir kaplama ile yeni yol yapılabilir.



BÖLÜM YEDİ

BULGULAR

YDD’nde kullanılan veriler girdi verileri olarak adlandırılır. Bu veriler, çeşitli veri kaynaklarından alınmış veya deney ve/veya gözlem yapılarak elde edilmiş olabilir. Girilen veriler; tanımlanmış projenin imalat, uygulama ve bakım gibi süreçlerde hangi malzeme veya iş makinesinden ne kadar veya kaç adet kullanılması gerektiğine bağlı olarak, YDD tarafından analize dahil edilir. Bu analiz sonucunda ortaya çıkan verilere ise çıktı verileri denilmektedir. Farklı girdiler ve çıktılar farklı birimlere sahip olabilir. Kısacası birim miktardaki gaz ve toz emisyonu, enerji tüketimi gibi girdi veriler, yol inşaatı için gerekli olan malzeme ve ekipman cinsine çevrilir ve sonuçta gerekli olan malzeme ve iş makineleri için gaz ve toz emisyonu, enerji tüketimi gibi çıktılar elde edilir.

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan çimento, beton, bitüm ve asfalt üretim tesislerinden alınacak emisyon faktörleri, sahada kullanılan iş makinelerinin emisyon faktörleri ile birlikte kullanılarak bir YDD’ne tabi tutulması ve servis ömürleri sonundaki sebep oldukları toplam emisyonların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ancak sadece asfalt üretim tesisinden istenen ölçüm sonuçları alınabilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ne göre çimento ve bitüm sanayiinde ölçülmesi gereken parametreler, sınır değerleri ile birlikte BÖLÜM BEŞ’te verilmiştir. İzmir’de bir asfalt üretim tesisinden elde edilen emisyon ölçüm sonuçları, sınır değerleri ile birlikte Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de verilmiştir.

Ancak istenen ölçüm sonuçları sadece asfalt üretim tesisinden alınabilmektedir. Elde edilemeyen emisyon faktörleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan –online ve periyodik olarak baca emisyonları izlendiği için- istenmiştir. Bu emisyon faktörlerinin paylaşılabilmesi ve yerli literatürde böyle bir çalışmanın henüz bulunmuyor olması nedeniyle yabancı literatüre başvurulmuştur.

Tablo 7.1 Asfalt üretim tesisindeki emisyon kaynakları ve ölçülen parametreler

	Kazan Bacası 1	Kazan Bacası 2	Asfalt Plenti Bacası
Yakıt türü	Doğal gaz	Doğal gaz	Doğal gaz
Isıl gücü (MW)	1,163	0,291	5,7
Baca hızı (m/sn) ölç/sınır	7,09 / 4	5,91 / -	4,66 / 4
	Emisyonlar (mg/Nm³) ort/sınır		
Yönetmelikteki grubu	Ek-5 A.5	Ek-5 A.5	Ek-5 N
CO	84,67 / 100	33,67 / 100	-
NO	164,67 / -	50,33 / -	28,85 / -
NO ₂	265,67 / 800	81,33 / 800	46,59 / -
SO ₂	1 / 100	0 / 100	3,94 / -
Toz	0,56 / 10	0,55 / 10	5,27 / 50
	Emisyonların Kütlesel Debileri (kg/saat) ölç/sınır		
Yönetmelikteki grubu	Ek-3 d	Ek-2 Baca	Ek-2 Baca dışı
CO	0,081 / 50	0,038 / 500	0 / 50
NO	0,157 / 20	0,056 / -	0,536 / -
NO ₂	0,254 / -	0,09 / 40	0,856 / 4
SO ₂	0,001 / 60	0 / 60	0,073 / 6
Toz	0,001 / 10	0,001 / 10	0,006 / 1

Tablo 7.2 Asfalt üretim tesisindeki PM₁₀ ve toz emisyonu ölçümleri

	PM ₁₀ (mg/Nm ³) ort./sınır	Çöken toz (mg/m ² - gün) ölç./sınır
Yönetmelikteki grubu	Ek-5 A.5	Ek-1 b.2.2
Bunker ağızı yanı	1,17 / 3	-
Kırma eleme kantarı yanı	2,07 / 3	-
Yükleme silosu yanı	1,70 / 3	-
By-pass 15 - 38 balans siloları önü	2,43 / 3	-
Tesis içi 1. nokta (kırma eleme kantarı yanı)	-	365,06 / 450
Tesis içi 2. nokta (formen binası)	-	428,89 / 450
Tesis dışı 1. nokta (ocak güneybatısı)	-	129,27 / 450
Tesis dışı 2. nokta (dinamit deposu önü)	-	92,18 / 450

Denetçi kuruluşa göre Tablo 7.1 ve Tablo 7.2'deki tüm emisyon ölçümleri belirtilen sınır değerlerin içerisinde yer alırken baca hızları sınır değerden fazladır. Ancak bu durum emisyonları etkilememekte ve böylece çalışmaya dahil edilmemektedir.

Literatür taraması sonucu ulaşılan çalışmalardan Lin (2012) çalışmasında YDD'de kullanılan girdi verilerini her bir malzeme ve ekipman (agrega, bitüm, çimento, asfalt, beton, greyder, silindir vb.) için ayrı şekilde; enerji (toplam, fosil yakıt, kömür, doğal

gaz, petrol) tüketimi ve gaz ve toz emisyonunu paylaşmıştır. Bu girdi değerleri çeşitli veri tabanlarından almıştır. Bu çalışmada ise bu verilerin birim dönüştürülmesi yapılmış ve incelenmek üzere bir araya getirilmiş ve sera gazları emisyonlarına odaklanılmıştır.

Lin (2012) çalışmasında ekipmanların girdi verilerindeki emisyon faktörlerini g/saat cinsinden paylaşmıştır. Bu değerler, çalışmada kullanılan Roadprint isimli YDD programına ulaşılması ile birlikte iş makinelerinin çalışma saatleri (saat/mil) ile çarpılarak g/mil cinsine çevrilmiştir. Bu bir mil yol yapımı için iş makinelerinin ortaya çıkardığı gaz emisyonlarının gram cinsinden ifadesi anlamına gelmektedir. Daha sonra ise g/mil'den g/km'e dönüşüm yapılmış ve bu değerler tablo haline getirilmiş ve paylaşılmıştır. Ardından bu tablolardaki sera gazları GWP cinsine çevrilmiştir. Bu şekilde mevcut çalışmanın aksine beton ve asfalt yolların birim mesafe ve birim malzeme üretimi bazında karşılaştırılabilmesi de sağlanmıştır.

Tablo 7.3 ve Tablo 7.4'te Eco-decision Making for Pavement Construction Projects Lin (2012) çalışmasında kullanılan beton ve asfalt yolların üretim, nakliye ve uygulama sırasında açığa çıkan CO₂, CH₄, N₂O ve PM₁₀ emisyonlarının girdi değerleri gösterilmektedir. Tablolarda değerlerin alındığı veri kaynakları ve bu kaynaklardaki birimleri gösterilmiştir. Ham madde ve malzemeler g/kg ürün cinsinden, iş makineleri ve kamyonlar ise bir şerit için g/km cinsinden gösterilmiştir.

Bu gazlar arasında N₂O, diğerlerine göre çok daha az salınması ve özellikle iş makineleri için yakın değerlerde olması sebebi ile çalışmaya dahil edilmemiştir. Üretim süreçlerinde ise kg ürün başına çok az konsantrasyonlu olarak ortaya çıkan bu gaz, tablolardaki ondalık formatında dahi görünmeyecek kadar az salınmıştır.

Çalışmada ayrıca; agrega ve çimento ikamesinde yaygın olarak kullanılan uçucu kül, dip külü, cüruf ve atık cam agregalarından uçucu kül, dip külü ve cüruf farklı üretim süreçleri sonucu kalan yan ürünler olduğu için, bu ürünlerin üretiminde ortaya çıkan emisyon değerleri de üretilen ana malzemeye bağlı olup, bu atık malzemeler değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 7.3 Beton yol yapım aşamaları ve sera gazı ve PM₁₀ emisyon faktörleri

İşlem	Veri kaynağı	İşlem detayı	Birim	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PM ₁₀
Yol güzergahının kazılması ve sıkıştırılması	(Nonroad, EPA 2006)	2 greyder (175 HP)	(g/km)	126.190,15	1,36	0,00	79,12
		1 beko loder (100 HP)	(g/km)	59.113,15	2,37	0,00	99,70
		1 ekskavatör (175 HP)	(g/km)	203.166,97	2,11	0,00	126,50
		1 ekskavatör (50 HP)	(g/km)	18.818,50	0,19	0,00	11,62
		1 loder (175 HP)	(g/km)	100.603,49	1,17	0,00	63,78
Kaba ve ince agrega üretimi	(PCA, 2007)	mıcır üretimi	(g/kg ürün)	1,42	0,00	0,00	0,01
		kum-çakıl üretimi	(g/kg ürün)	0,07	0,00	0,00	0,00
Portland çimentosu üretimi	(PCA, 2006)	CEM I	(g/kg ürün)	927,00	0,04	0,00	2,35
Agrega ve çimento ikamesi	(Enviros, 2003)	%15-20 atık cam agregası üretimi	(g/kg ürün)	18,00	0,00	0,00	0,00
PÇB üretimi	(PCA, 2007)	4.000 psi (≈ 25 N/mm ²) dayanımlı beton	(g/kg ürün)	99,00	0,01	0,00	0,21
Donatı üretimi	(GREET 2.7, 2006)	paslanmaz çelik	(g/kg ürün)	2.100,00	4,82	0,03	1,95
PÇB dökümü ve serimi	(Nonroad, EPA 2006)	1 beton serici (300 HP)	(g/km)	693.432,12	8,24	0,00	391,38
		1 kayar kalıp finişer (600 HP)	(g/km)	2.303.980,52	20,65	0,00	1.158,51
Nakliye	(UWME GREET, 2008)	7 kamyon (45L/100km 20t yüklü)	(g/km)	8.761,15	0,18	0,23	0,85
		7 kamyon (35L/100km yüksüz)	(g/km)	5.957,58	0,18	0,23	0,58

Tablo 7.3’de de görüldüğü üzere beton kaplamalı yol yapımı, birim ürün ve km olarak değerlendirildiğinde, yol yapımını 2 ayrı sürece ayıracak olursak:

- Malzeme üretiminde kg ürün başına; 3.145,49 g CO₂, 4,87 g CH₄, 0,03 g N₂O ve 4,52 g PM₁₀,
- İnşaat sürecinde ise tek şeritte km başına; 3.520,02 kg CO₂, 36,44 g CH₄, 0,46 g N₂O ve 1.932,04 g PM₁₀ emisyon faktörü açığa çıkmıştır. Burada inşaat sürecine, nakliye ve iş makineleri dahil edilmiştir.

WSDOT gereği, BSK temel ve bu temel için gerekli iş makineleri ve kamyonların emisyon faktörlerini dahil ettiğimizde ise toplamda, kg ürün başına; 3.387,98 kg CO₂, 5,60 g CH₄, 0,04 g’den az N₂O ve 4,84 g PM₁₀, tek şeritte km başına; 6.501,42 kg CO₂, 72,32 g CH₄, 0,77 g N₂O ve 3.832,75 g PM₁₀ salınmıştır.

Bu verileri GWP cinsinden yazacak olursak; kg ürün başına 3,5 kg CO₂-e ve km başına ise 6.503 kg CO₂-e değerleri elde edilmektedir.

Tablo 7.4 Asfalt yol yapım aşamalarında sera gazı ve PM₁₀ değerleri

İşlem	Veri kaynağı	İşlem detayı	Birim	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PM ₁₀
Yol güzergahının kazılması ve sıkıştırılması	(Nonroad EPA, 2008)	2 greyder (175 HP)	(g/km)	126.190,15	1,36	0,00	79,12
		1 beko loder (100 HP)	(g/km)	59.113,15	2,37	0,00	99,70
		2 ekskavatör (175 HP)	(g/km)	203.166,97	2,11	0,00	126,50
		1 ekskavatör (50 HP)	(g/km)	18.818,50	0,19	0,00	11,62
		1 loder (175 HP)	(g/km)	100.603,49	1,17	0,00	63,78
Kaba ve ince agregat üretimi	(PCA, 2007)	mıcır üretimi	(g/kg ürün)	1,42	0,00	0,00	0,01
		kum-çakıl üretimi	(g/kg ürün)	0,07	0,00	0,00	0,00

Tablo 7.4 devamı

İşlem	Veri kaynağı	İşlem detayı	Birim	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PM ₁₀
Bitüm üretimi	(Eurobitume, 2011)		(g/kg ürün)	226,00	0,72	0,00	0,30
BSK üretimi	(Stripple, 2001 AP-42, 2004)	%85 agrega ve %10 kum	(g/kg ürün)	15,00	0,01	0,00	0,01
BSK serimi ve sıkıştırılması	(Nonroad EPA, 2008)	1 finişer (175 HP)	(g/km)	804.444,52	9,10	0,00	511,33
		1 finişer (100 HP)	(g/km)	28.732,36	0,40	0,00	27,05
		1 malzeme aktarma aracı (300 HP)	(g/km)	1.392.411,69	16,55	0,00	785,89
		2 bandajlı vibrasyonlu silindir (175 HP)	(g/km)	422.930,16	4,92	0,00	271,60
		1 bandajlı vibrasyonlu silindir (175 HP)	(g/km)	21.175,12	0,25	0,00	13,60
		1 lastik tekerli silindir (100 HP)	(g/km)	301.192,21	4,38	0,00	290,22
Nakliye	(UWME GREET, 2008)	13 kamyon (45L/100km 20t yüklü)	(g/km)	16.270,70	0,33	0,42	1,58
		13 kamyon (35L/100km yüksüz)	(g/km)	11.064,08	0,33	0,42	1,07

Tablo 7.4 devamı

İşlem	Veri kaynağı	İşlem detayı	Birim	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PM ₁₀
Bakım çalışmaları	(Nonroad EPA, 2008)	1 finişer (175 HP)	(g/km)	20.103,83	0,23	0,00	12,78
		1 finişer (100 HP)	(g/km)	7.287,19	0,10	0,00	6,86
		1 malzeme aktarma aracı (300 HP)	(g/km)	347.976,84	4,14	0,00	196,40
		2 bandajlı vibrasyonlu silindir (175 HP)	(g/km)	394.887,42	4,59	0,00	253,59
		1 bandajlı vibrasyonlu silindir (175 HP)	(g/km)	19.744,37	0,23	0,00	12,68
		1 lastik tekerli silindir (100 HP)	(g/km)	301.192,21	4,38	0,00	290,22

Tablo 7.4'te görüldüğü gibi asfalt yol yapımı, birim ürün ve iş olarak değerlendirildiğinde, bakım sürecini de kapsayan asfalt kaplamalı yol yapımının 3 süreci olan:

- Malzeme üretiminde kg ürün başına, 242,49 g CO₂, 0,73 g CH₄, 0,01 g altında N₂O ve 0,32 g PM₁₀,
- İnşaat sürecinde tek şeritte km başına iş makineleri toplamda 3.506,11 kg CO₂, 43,46 g CH₄, 0,84 g N₂O ve 2.283,07 g PM₁₀,
- Bakım sürecinde ise tek şeritte km başına 1.091,19 kg CO₂, 13,67 g CH₄, 0,01 g'ın altında N₂O ve 772,53 g PM₁₀ emisyon faktörü açığa çıkmıştır.

PM₁₀ emisyonuna bakıldığında asfalt kaplamanın kullanıldığı yollarda, inşaat ve bakım süreçleri göz önüne alındığında toplamda km başına 3.055,60 g havada asılı toz emisyonu görülürken, beton kaplamanın kullanıldığı yollarda ise bu değer km başına

3.832,75 g'dır. Sadece malzeme üretimleri kıyaslandığında ise bu değerler kg ürün başına sırasıyla 0,32 g ve 4,52 g'a düşmektedir.

Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasında ise birden fazla olan beton ve asfalt yol tasarımlarından uygun olanlar bu çalışma için seçilmiş; yol yapım ve yol bakım çalışmaları için ayrı başlıklar altında paylaşılan gerekli malzemeler ve ekipmanlar, bu çalışmada her bir yol tipi için ayrı bir tablo haline getirilmiştir. Lin (2012) çalışmasından farklı olarak, paylaşılan veriler malzeme ve ekipmanların nicel verileridir, dolayısıyla kullanılacak olan malzemelerin ve ekipmanların emisyon faktörlerini paylaşmamış, ancak bunları, YDD sırasında kullanmıştır.

Tablo 7.5 ve Tablo 7.6'te Life Cycle Assessment for Road Construction and Use Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasında sırasıyla beton ve asfalt kaplamalı yol projelerinde için kullanılacak malzeme miktarları ve makineler yer almaktadır. Bu değerler Ecoinvent (2009) veri tabanından elde edilmiş ve yaşam döngü değerlendirmesinde kullanılmıştır. Tablo 7.5'te yer alan ve bakım için kullanılan iş makineleri Alman İnşaat Endüstrisi Konfederasyonu tarafından yayınlanmıştır.

Tablo 7.5 Beton yolların inşaatı ve bakımı için gereken malzeme ve makineler (Milachowski ve diğer., 2011)

İmalat	Malzemeler	Miktar	Birim	Makineler	Adet
Beton yüzey tabakası	derz dolgusu	4,3	(t/km)	kayar kalıp finişeri	1
	kür katkısı	9,6	(t/km)	kür makinesi	1
	kayma demiri	44,8	(m ³ /km)	derz kesici	2
	üst beton	1,68	(m ³ /km)	Ek yeri yalıtım makinesi	3
	alt beton	3,36	(m ³ /km)		
Ara tabaka	jeotekstil	0,5	(kg/m ²)		
Hidrolik bağlayıcı temel kademesi	CEM II/B-S 32.5R	90	(kg/m ³)	finişer	2
	Agrega	1.975	(kg/m ³)	silindir	6
	Su	110	(l/m ³)	bitüm distribütörü	5
	C60 B1 -N	1,6	(kg/m ²)		

Tablo 7.5 devamı

İmalat	Malzemeler	Miktar	Birim	Makineler	Adet
Bakım					
1 kere bağlantı yenilenmesi	bağlantı dolgusu	4,3	(t/km)	kompakt yükleyici	
				kompresörler	
				yıkama makineleri	
				bitüm kazanı	
Diyagonal çatlakların tamiri, %1	yapışkan köprü	0,4	(kg/m ²)	matkap	
				kumlama makinesi	
	çift bileşenli reçine	1,15	(kg/m ³)	küçük kompresör	
				mikser	
Kaplamanın %1'inin kaldırılıp tamir edilmesi	tamir harcı	2,95	(m ³ /km)	kompresör	
Kaplamanın %1'inin değiştirilmesi	erken dayanımı yüksek beton	56,7	(m ³ /km)	beton derz kesici	
				matkap	
	Çelik	0,45	(t/km)	kriko	
				dübel ve bağlama makineleri	
	kür katkısı	0,11	(t/km)	dalgıç vibratörü	
				düzleştirici	

Tablo 7.6 Asfalt yolların inşaatı için gereken malzeme ve makineler (Milachowski ve diğer., 2011)

İmalat	Malzemeler	Miktar	Birim	Makineler	Adet
Asfalt aşınma tabakası	bitüm emülsiyon	0,3	(kg/m ²)	bitüm distribütörü	5
	düşük viskoziteli bitüm	72,5	(kg/m ³)	mastik asfalt kaynatıcı	4
	kaba agregası	2.415	(kg/m ³)	asfalt finişer	2
	ince agregası	8	(kg/m ³)	yüzey düzeltme makinesi	2

Tablo 7.6 devamı

İmalat	Malzemeler	Miktar	Birim	Makineler	Adet
Asfalt binder tabakası	bitüm emülsiyon	0,3	(kg/m ²)	bitüm distribütörü	5
	polimer modifiye bitüm	45,9	(kg/m ³)	asfalt finişer	2
	Agrega	2.421	(kg/m ³)	titreşimli silindir	4
				tandem silindiri	1
Asfalt temel tabakası	Bitüm	36,7	(kg/m ³)	asfalt finişer	2
	Agrega	2.349	(kg/m ³)	titreşimli silindir	4

Çalışmaların girdilerini oluşturan Tablo 7.3, Tablo 7.4, Tablo 7.5 ve Tablo 7.6’teki emisyon değerleri ve/veya yine aynı veri kaynaklarından ulaşılabilen enerji tüketimi değerleri YDD yapılarak servis ömrü sonundaki toplam GWP çıktıları elde edilmiştir. Lin (2012) çalışmasından alınan analizlerin sonuçları Tablo 7.5 ve Tablo 7.6’de, Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasından alınan analizlerin sonuçları Tablo 8.3’te görülmektedir.

Tablo 7.7 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi sonucu toplam GWP çıktıları (Lin, 2012)

Etki	Enerji Tüketimi		Küresel Isınma Potansiyeli		Asidite		Fotokimyasal Duman		Ötrofikasyon	
Birim	Enerji (GJ)		GWP (kg CO ₂ -e)		(kg SO ₂)		(kg NO _x)		(kg PO ₄)	
BSK Kaplama										
Malzeme Üretimi	5.535	74%	251.000	62%	825	19%	799	49%	77	44%
İnşaat	544	7%	44.000	11%	235	5%	352	21%	41	23%
Nakliye	1.400	19%	107.000	27%	3.399	76%	493	30%	59	34%
Toplam	7.478		402.000		4.460		1.644		177	
PÇB Kaplama										
Malzeme Üretimi	4.598	80%	490.000	84%	1.544	42%	1.272	70%	155	71%
İnşaat	379	7%	31.000	5%	168	5%	257	14%	29	13%
Nakliye	800	14%	61.000	11%	1.931	53%	281	16%	34	16%
Toplam	5.777		582.000		3.644		1.810		218	

Tablo 7.8 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yapılarak sonucu toplam GWP'ın inşaat süreçlerine göre dağılımı (Lin, 2012)

	PÇB GWP (CO ₂ -e)				BSK GWP (CO ₂ -e)			
	İmalat		Nakliye		İmalat		Nakliye	
Ham madde	(kg)	%	(kg)	%	(kg)	%	(kg)	%
BSK	35.800	7,3	11.100	18,2	136.500	54,4	46.000	42,9
PÇB	3.200	0,6	28.800	47,1	0	0	0	0
Kaba agrega	9.900	2	19.500	31,8	17.200	6,9	54.800	51,2
İnce agrega	100	0	1.100	1,8	400	0,2	4.100	3,8
Bitüm	25.400	5,2	600	0,9	96.600	38,5	2.100	2
Çimento	366.800	74,9	0	0	0	0	0	0
Donatı	48.600	9,9	100	0,2	0	0	0	0
Toplam	490.000	100	61.000	100	251.000	100	107.000	100

Girdi değerlerini gösteren Tablo 7.3 ve Tablo 7.4'e göre 1 kg ham madde üretimi sürecinde olduğu gibi, Tablo 7.7 ve Tablo 7.8'de görüldüğü üzere YDD sonunda malzeme üretiminde de daha az Küresel Isınma Potansiyeli olan asfalt kaplamaların, inşaat ve nakliye sürecinde daha büyük GWP değerine sahip olmasına rağmen, toplamda potansiyel çevresel etkisinin %30 daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Milachowski ve diğer. (2011) ise çalışmasındaki YDD sonuçlarını sadece yol yapımı ve bakımı olarak iki ayrı süreç tanımlayarak paylaşmıştır. Böylece tabloda yapım olarak görünen sürecin içinde Lin (2012) çalışmasına göre “malzeme üretimi”, “inşaat” ve “nakliye” süreçleri kapsamıştır. Yine bu çalışmaya göre fark ise; bakım – onarım çalışmalarının sebep olduğu emisyonların “bakım” adlı süreç olarak ayrıca belirtilmesidir. Lin (2012) çalışmasında bakım – onarım çalışmalarının sebep olduğu emisyonlar, ilgili süreçlerin emisyonlarına eklenmiş bir şekilde paylaşılmıştır.

Tablo 7.9'e göre BSK kaplama olarak adlandırabileceğimiz “Mastik asfalt kaplama”lar, PÇB kaplama olarak adlandırabileceğimiz “Dokulu beton kaplama”lara kıyasla küresel ısınma potansiyeli bazında; yapım sürecinde yaklaşık %38 daha avantajlı, bakım sürecinde ise % 1.500 daha dezavantajlıdır. Toplam GWP'e

bakıldığında ise aralarında önemli bir fark bulunmamak ile birlikte, beton yollar sadece % 5 oranda daha fazla CO₂-e emisyonuna neden olmaktadır.

Tablo 7.9 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi sonucu yapım ve bakım süreçlerinin GWP çıktıları (Milachowski ve diğer., 2011)

	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Stratosferdeki ozon tabakasını inceltme potansiyeli (ODP)	Foto-oksidan oluşumu potansiyeli (POCP)	Asitleşme potansiyeli (AP)	Ötrofikasyon potansiyeli (EP)
Mastik asfalt kaplama	(kg CO₂-e)	(kg CFC-11-e)	(kg C₂H₄-e)	(kg SO₂-e)	(kg PO₄³⁻-e)
Yapım	1.694.753	0,39	413	8.191	1.232
Bakım	944.116	0,21	272	5.249	723
Toplam	2.638.869	0,6	685	13.440	1.955
Dokulu beton kaplama					
Yapım	2.710.311	0,13	380	6.374	1.084
Bakım	60.520	0,01	46	265	36
Toplam	2.770.831	0,14	426	6.639	1.120

EUPAVE (Avrupa Beton Kaplama Birliği) tarafından yayınlanmış olan ve Tablo 7.9’de GWP çıktılarını gördüğümüz raporda, 30 yıllık servis ömrü öngörülen otoyolun 1 km’lik kesimi için CO₂-e emisyonu beton yolların ”yapım” sürecinde asfalt yollara göre yaklaşık %60 daha fazla oranda küresel ısınmaya neden olmaktadır . Ancak bu durum “bakım” süreçleri için tam tersidir ve beton kaplamalar, asfalt kaplamalara göre daha az potansiyel çevresel etkiye neden olmaktadır. Servis ömrü süresince yapım ve bakım-onarım birlikte düşünüldüğünde ise asfalt yolların %5 daha az potansiyel çevresel etkiye sahip olduğu görülmektedir. Aradaki bu farkın, Lin (2012)’in çalışmasına göre %30 olarak belirlenen farktan çok daha az olması dikkat çekmektedir.

Tablo 7.10’in yer aldığı çalışmada Pontarollo, (2000) eş hacimdeki asfalt ve beton üretiminin GWP değerlerine yer verilmiştir. Ancak bu çalışma 2000 yılında gerçekleştirildiğinden dolayı GWP değerleri zamanla EPA tarafından güncellenen GWP değerlerinden farklıdır. Buna rağmen yine görülmektedir ki örneğin asfalt ve

derzli donatısız beton kaplamalar (elik donatı olmaksızın) hesaplanmış olan CO₂-e değerleri sırası ile; 230 ve 550 kg olup aralarında yaklaşık olarak ½'den daha küçük bir oran mevcuttur.

Tablo 7.10 Eş hacimdeki yol kaplama malzemelerinin üretiminde açığa çıkan sera gazı emisyonları (Pontarollo, 2000)

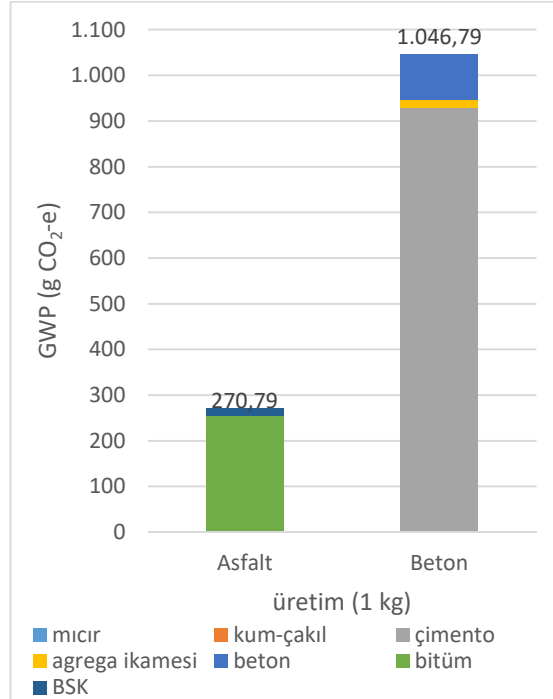
Kaplama Türü	CO ₂ (kg)	N ₂ O (kg)	CH ₄ (kg)	GWP (kg CO ₂ -e)
Asfalt (m ³)	160,29	0,38	0,19	230
Beton (m ³)	324,16	1,44	0,14	550
Granüle Temel Tabakası (m ³)	25,75	0,17	0,03	53
Granüle Alt-temel tabakası (m ³)	10,20	0,12	0	28
elik (t)	2.195,25	7,1	3,93	2.197

BÖLÜM SEKİZ

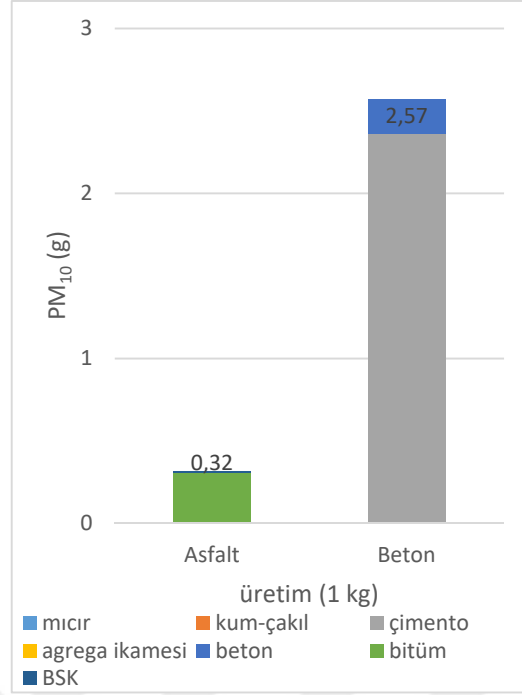
TARTIŞMALAR

YDD değerlendirmesine alınan kaplama türleri, ham maddelerinin üretiminden servis ömürlerinin sonuna kadar olan bir analize tabi tutulmuş olmaktadır. Bu sayede elde edilen sonuçlar kaplama türlerinin hizmet verdiği süre boyunca sebep olduğu emisyon değerlerini göstermektedir. Bu yüzden çıktı verileri kg cinsinden verilmektedir.

Beton ve asfalt yolların ortak ham maddelerinden agreganın, üretim süreçleri aynı olduğundan dolayı birim üretimlerindeki emisyon faktörleri aynıdır. İki kaplama tipinin ham madde sürecindeki farklılık bağlayıcı maddelerin üretilmesi sırasında açığa çıkmaktadır. Beton üretiminde bağlayıcı madde olarak kullanılan çimento ve asfaltta bağlayıcı maddde olarak kullanılan bitüm üretiminde doğal olarak süreç farkları ve buna bağlı olarak emisyon faktörleri farklıdır. Ayrıca beton ve asfalt üretiminde katkı maddesi olarak kullanılan maddelerin üretimleri de farklıdır. Bunlar Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de grafikler ile ifade edilmiştir.



Şekil 8.1 Lin (2012) çalışmasında asfalt ve beton üretimlerinin içerdiği süreçlerin toplam GWP değerleri

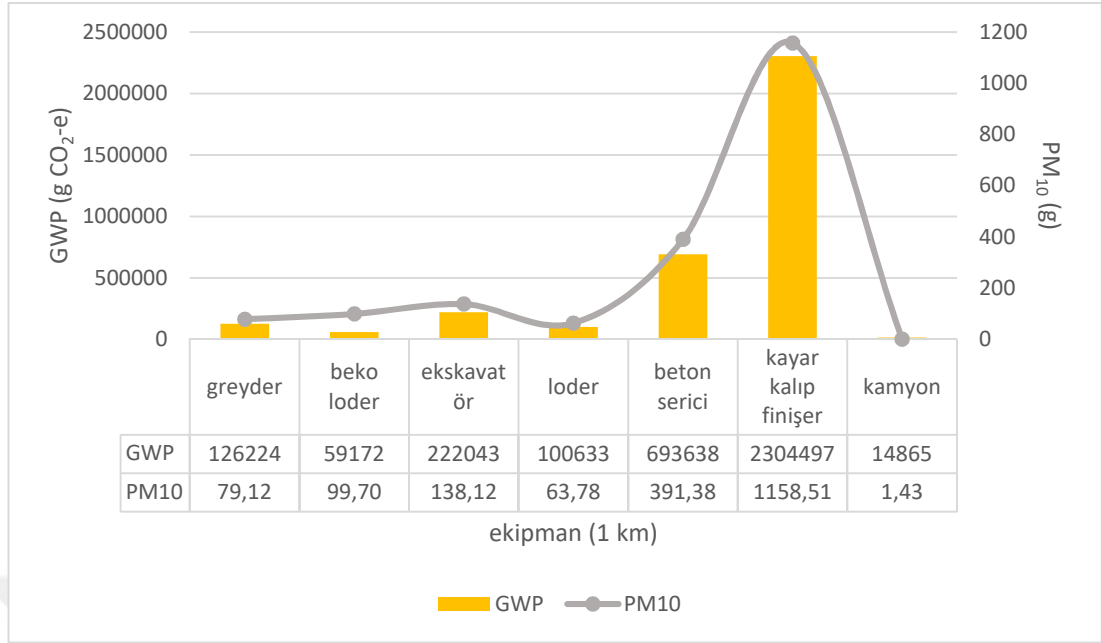


Şekil 8.2 Lin (2012) çalışmasında asfalt ve beton üretimlerinin içerdiği süreçlerin toplam PM₁₀ değerleri

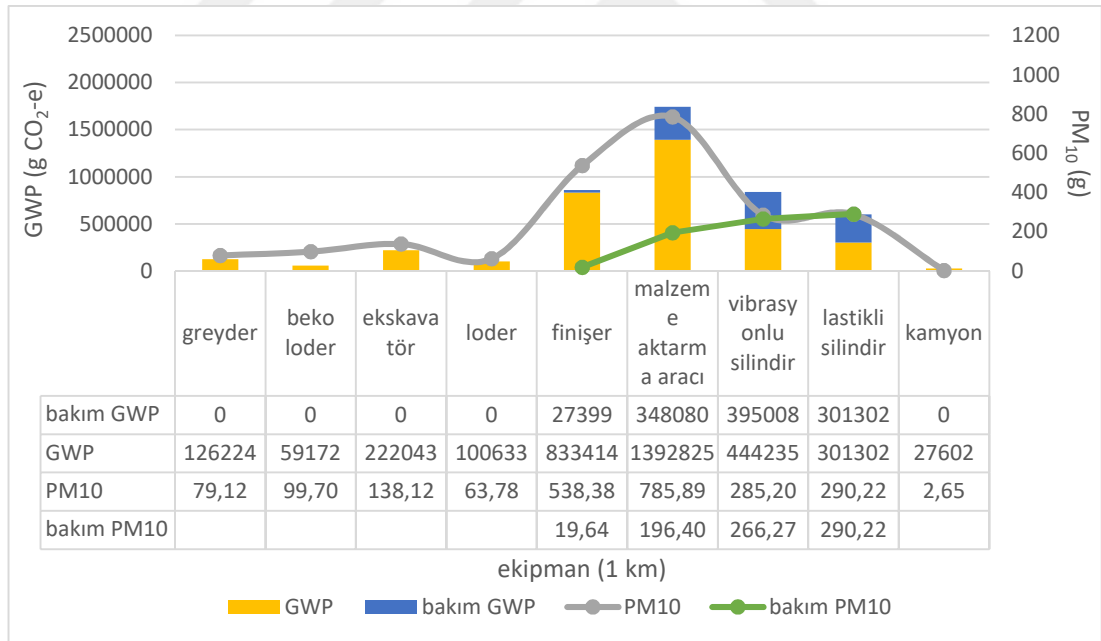
Ancak unutulmamalıdır ki Şekil 8.1 ve Şekil 8.2 farklı üretim süreçlerinin bir araya gelmesi ile oluşturulmuştur. Örneğin asfalt için 1'er kg mıcır, kum-çakıl, bitüm ve asfalt üretiminden ve beton için 1'er kg mıcır, kum-çakıl, çimento, agrega ikamesi ve beton üretiminden faydalanılmıştır. Grafiklerden görülmektedir ki; 1 kg beton üretilene kadarki tüm süreçlerde açığa çıkan emisyonların CO₂ eşleniği, 1 kg asfalt üretilene kadarki tüm süreçlerde açığa çıkanlardan yaklaşık 4 kat fazladır.

Aynı şartlar PM₁₀ emisyon faktörleri için göz önüne alındığında ise beton üretiminde açığa çıkan PM₁₀ emisyonu asfalt üretiminden yaklaşık 8 kat fazladır.

Yine aynı tablolarda yer alan verilerden ekipmanlara ait olan girdi verilerinin GWP ve PM₁₀ değerleri grafik haline getirilecek olursa, tek bir bar şeklinde göstermek olanaksızdır. Çünkü iş makineleri belirli bir sırada ve saat ile çalışsa da oluşturdıkları emisyonlar birbirinden bağımsızdır.



Şekil 8.3 Lin (2012) çalışmasında beton yol yapımı için Tablo 7.3’de paylaşılan ekipmanların 1 km’deki GWP ve PM₁₀ emisyonları



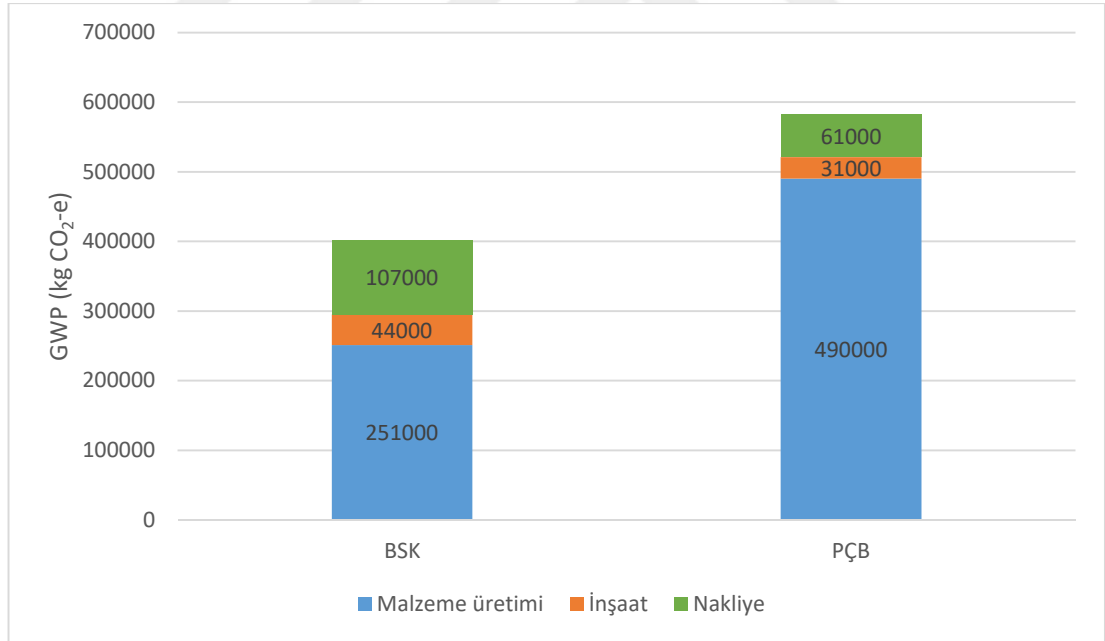
Şekil 8.4 Lin (2012) çalışmasında asfalt yol yapımı için Tablo 7.4’de paylaşılan ekipmanların 1 km’deki GWP ve PM₁₀ emisyonları

Şekil 8.3 ve Şekil 8.4’te beton ve asfalt yollar için Lin (2012) çalışmasında kullanılan ekipmanların YDD girdi verileri yer almaktadır. Buna göre GWP ve PM₁₀ incelendiğinde aynı ölçekte çizilmiş olan grafiklerden; beton yol inşaatında kullanılan

iş makinelerinden Kayar Kalıp Finişer'in km başına ortaya çıkardığı sera gazı emisyonunun, kendisine en yakın asfalt yol inşaatında kullanılan Malzeme Aktarma Aracı'ndan yaklaşık 1,65 kat fazla olduğu kolayca görülmektedir. Ancak bu veriler iş makineleri ve ekipmanların çalıştıkları 1 km içinde açığa çıkardıkları CO₂-e ve PM₁₀ emisyonlarını göstermektedir. Bu ekipmanların, inşaat boyunca kaç tur veya km kullanılmış olduğu Roadprint tarafından hesaplanmış ve YDD'ne dahil edilmiştir.

Toprak işleri için aynı ekipmanların kullanılacağı kabul edilmiş ve analize bu şekilde sokulmuştur. Farklılıklar iki kaplama türü için de özel olan ekipmanlardan kaynaklanmaktadır. Grafiklerin geneli için ise, çoğu zaman PM₁₀ emisyonlarının CO₂-e emisyonları ile doğru orantılı olarak değiştiği yorumu yapılabilir.

Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'te ise, Tablo 7.7 ve Tablo 7.8 yer alan Lin (2012) çalışmasındaki YDD'nin sonuçları grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 8.5 Lin (2012) çalışmasında YDD sonucu asfalt (BSK) ve beton (PÇB) kaplamaların CO₂-e emisyonları

İki kaplama türü için de iş makineleri ve ekipmanlarının GWP değerleri “inşaat” süreci altında verilmiştir. BSK ve PÇB kaplamalı yol yapımının toplam potansiyel

çevresel etkisi içerisindeki oranları düşüktür. Bu oranlar sırasıyla %11 ve %5 olup, yol inşaatı sırasında kullanılan iş makineleri ve ekipmanların, kaplamaların hizmet ömrü boyunca sebep olduğu CO₂-e emisyonlarına göre etkisi oldukça azdır. Servis ömrü boyunca olan tüm süreçler düşünüldüğünde PÇB kaplamalar yaklaşık %45 daha fazla CO₂-e emisyonuna sebep olmaktadır.

Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'daki grafiklerde sırası ile Lin (2012) çalışmasındaki YDD sonuçlarından tüm süreçleri ve sadece imalat süreçlerinin GWP çıktıları görülmektedir. Bakım sırasında açığa çıkan emisyonlar, uygun süreçlere eklenmiş şekilde gösterilen bu grafiklerden de anlaşılacağı gibi, çalışmaya göre BSK kaplamalar inşaat ve nakliye süreçlerinde daha fazla CO₂-e emisyonuna neden olsa da, malzeme üretiminde yaklaşık %50 daha az CO₂-e emisyonuna neden olmaktadır. Aradaki bu farkta; çimento üretimi sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıklar ve beton plaklar içinde kullanılan kayma demirleri ve donatıların rolü azımsanamayacak kadar fazladır.

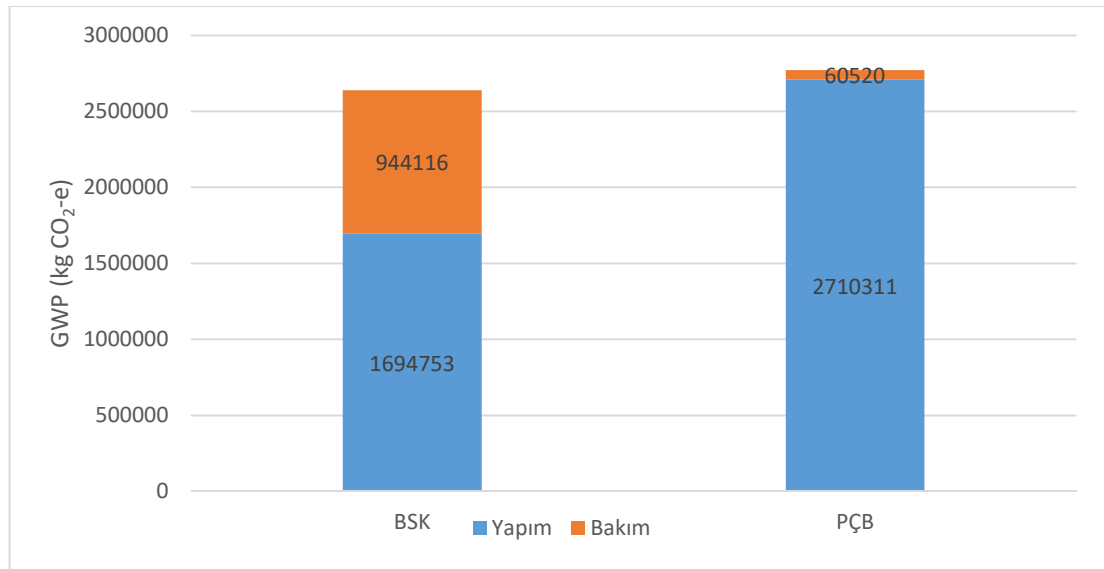


Şekil 8.6 Lin (2012) çalışmasında YDD sonucu asfalt (BSK) ve beton (PÇB) kaplamaların ham madde ve malzemelerinin üretim süreçlerindeki CO₂-e emisyonları

Lin (2012) çalışmasında, girdiler incelendiğinde toplam emisyonun çok büyük bir kısmının iş makinelerinden kaynaklandığı görülse de, malzeme üretimi değerlerinin,

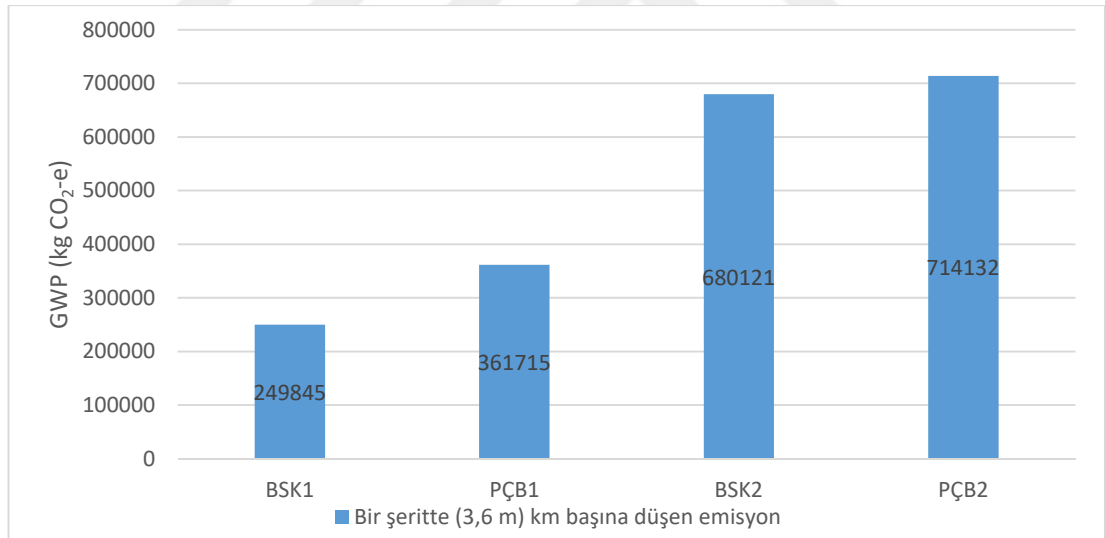
malzemelerin sadece 1 kg'ı için ortaya çıkan emisyonlar olduğu unutulmamalıdır. Bu durum Tablo 8.1'de, "Malzeme Üretimi" süreçlerinin GWP değerlerinin, iş makinelerini içeren "İnşaat" süreçlerinin GWP değerinden çok daha fazla olmasını açıklamaktadır. Ayrıca çalışmadaki rijit üstyapı tasarımı, WSDOT standartlarını sağlaması için bir BSK temel içermektedir. CO₂-e emisyonlarının %7'sine sebep olan BSK temelin kullanılmaması, rijit üstyapının "Malzeme Üretimi" sürecindeki GWP değerlerini çok az da olsa azaltabileceği öngörülmüştür. Çünkü BSK temelin yerini aynı kalınlıkta kırmataş temel alabilir. Girdi verileri Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nde kullanılırken; iş makinelerinin çalışma saatleri, hızlar (birim iş hacimleri) ve verimlilik faktörleri dikkate alınmıştır. Genel GWP yüzdelik dağılımına bakıldığında en düşük payın iş makineleri çalışmasını içeren inşaat sürecinde olduğu görülmektedir. Yine bu çalışmada PÇB kaplama beton yol için bakım-, onarım işlemlerinin hesaplara dahil edilmediği unutulmamalıdır.

Çalışmada ise girdi verileri sadece malzeme niceliği ve iş makinesi adeti bazında paylaşıldığı için YDD öncesi kullanılan CO₂, CO₂-e veya PM₁₀ emisyon faktörleri değerlerine ulaşamamıştır. Ayrıca asfalt yolların bakımında kullanılacak olan malzemeler ve makinelerin paylaşılması da dikkat çekmektedir.



Şekil 8.7 Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasında YDD sonucu asfalt (BSK) ve beton (PÇB) kaplamaların yapım ve bakım süreçlerindeki CO₂-e emisyonları

Şekil 8.7’te ise Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasındaki YDD sonucunun grafiğe dönüştürülmüş hali bulunmaktadır. Bu grafikte Şekil 8.5 ve Şekil 8.6’dan farklı olarak BSK ve PÇB kaplamalar için sadece yapım ve bakım şeklinde gruplandırılan süreçler vardır. Servis ömürlerinin tamamına bakıldığında; PÇB kaplamaların, BSK kaplamalardan sadece %5 daha fazla CO₂ eşleniğine sebep olduğu görülmektedir. İmalat süreci yolun yapımında kullanılan tüm malzemelerin üretimi ve iş makinelerini kapsamaktadır. Buna göre malzeme üretimi, inşaat ve nakliye süreçlerinin toplamı olarak da tanımlayabileceğimiz yapım sürecinde BSK kaplamalar, PÇB kaplamalardan yaklaşık % 38’ daha az CO₂-e emisyonuna neden olmaktadır. Ancak sık bakım – onarım çalışmaları sebebiyle, BSK kaplamaların, PÇB kaplamalı yollara göre bakım sürecinde yaklaşık 15 kat daha fazla sera gazı emisyonuna neden olduğu görülmektedir. Bu çok büyük bir farktır ancak malzeme üretimi ve yol yapım süreçlerinde BSK kaplamalar bu farkı tolere edebilecek derecede az emisyonu sebep olmaktadır.



Şekil 8.8 Lin (2012) ve Milachowski ve diğer. (2011) çalışmalarındaki projelerin GWP değerlerinin aynı şerit genişliği ve uzunluğundaki görünümü

İki çalışma aynı grafikte incelenecek olursa; çalışmalardaki platform genişlikleri ve yol uzunluklarını eşitlenmesi gerekir. YDD’e alınan proje ölçüleri Lin (2012) çalışmasında sırasıyla 3,6 m ve 1,609 km ve Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasında ise sırasıyla 14 m 1 km’dir. Bu yüzden iki çalışmanın ortak bir tabanda karşılaştırılabilmesinin mümkün olması için; YDD sonucu elde edilen GWP

değerlerini, genel bir şerit genişliği olarak sayılabilecek olan 3,6 m ve birim uzunluk olan 1 km'ye gelecek şekilde hesaplamak gereklidir. Buna göre hesaplanan GWP değerleri Şekil 8.8'de gösterilmiştir.

İki çalışma için de inşaat sürecinde iş makineleri iki kaplama arasında fark yaratacak kadar büyük bir etkiye sahip değildir. Çünkü bu tarz yol projelerinde egzoz emisyonları birbirine çok yakın veya aynı olan iş makineleri kullanılmaktadır. Ayrıca iş makinelerinin sebep olduğu emisyonların birimlerinin açıkça belirtilmemesi, PM₁₀ emisyonlarının da sadece üretim sürecinde değerlendirilebilmesine sebep olmuştur; böylece 1 kg'lık malzeme üretimleri baz alındığında toplamda beton yolların PM₁₀ emisyonu asfalt yollara göre 15 kat daha fazladır. Genel sonuçlar itibari ile iş makineleri kaynaklı sera gazı ve PM₁₀ emisyonları, üretim ve nakliye kaynaklı sera gazı emisyonları yanında oldukça az bir etkiye sahiptir. İki çalışmada kabul edilen servis ömrü birbirinden farklı olduğundan, çalışmalar sadece tasarımlarında 27'şer cm kaplama bulunan beton kaplamaların yıllık GWP değerleri olarak kıyaslanabilse de; bu kaplama türü için bakım-onarım ve BSK alttemel imalatının sadece Milachowski ve diğer. (2011)'nin çalışmasında dahil edilmesi, çalışmalardaki beton kaplamalı yollar arasındaki CO₂-e emisyon farkını yıllık 3,3 katına kadar çıkarabilmektedir. Buna; YDD sonucundaki toplam CO₂-e değerlerini çalışmalarda kullanılan projelerin servis ömürlerine bölerek ulaşılabilir. Ancak unutulmamalı ki servis ömürleri içindeki yıllık en büyük salınımlar malzeme üretiminin gerçekleştiği yıllarda meydana gelecektir.

Şekil 8.8'de iki çalışmada analiz edilen projelerin 1 şerit için km başına düşen GWP değerleri görülmektedir. İki çalışmada da PÇB kaplamalı yolların, BSK kaplamalı yollara göre potansiyel çevre etkisi daha yüksektir. Ancak Lin (2012) çalışmasının GWP değerlerinin aynı kaplama türleri ile karşılaştırıldığında Milachowski ve diğer. (2011) çalışmasının GWP değerlerinden ortalama %80 daha az olduğu gözlemlenmektedir. Bu fark toplam GWP'ye etkisi büyük olan, malzemelerin üretiminin ve/veya üstyapı tasarım farklılığından dolayı malzemelerin kullanım miktarları ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Yukarıda görülen bu farklılık karbon ayak

izinin bulunması için her çalışmanın proje bazında incelenmesi ve çevresel etki değerlendirmesinin ayrı ayrı yapılmasının önemine işaret etmektedir.

Ancak PM₁₀ emisyonu iki çalışmalarda YDD sonucu olarak paylaşılmamıştır. Çünkü malzemelerin 1 kg'lık üretimine bakıldığında, çimento üretiminde ulaşılan yüksek sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara ulaşmak için kullanılan yakıtlar nedeni ile beton yollar çevresel etkiler açısından yine dezavantajlı duruma düşmektedir.



BÖLÜM DOKUZ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

YDD bir ürün veya hizmetin ham madde üretiminden başlayan ve hizmet ömrünün sonuna hatta gelmiş olduğu atık halinin bertarafına kadar geçen sürede, belirlenen bir değişkenin çevresel etkilerinin incelenmesidir. Özellikle küresel ısınma farkındalığının artmaya başladığı 90'lı yılların sonuna doğru üzerinde durulan YDD, günlük hayatımızda yaygınca kullanılan ve çevreye etkisinin merak edildiği malzemelerin analizinde sıkça kullanılır hale gelmiştir. Çevre ile etkileşimi incelediğinden dolayı YDD çıktıları GWP yani Küresel Isınma Potansiyeli cinsinden, CO₂-e birimi ile verilmektedir. Yüksek GWP, potansiyel çevre etkisinin de yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Bulgular bölümünde iki çalışmanın da YDD öncesi girdi verileri incelenmiş, birim üretim ve mesafede sebep oldukları sera gazı ve toz emisyon faktörlerinin ortak bir birimde karşılaştırılabilmesi için farklı birimlerden dönüşümleri yapılarak sonuçlar grafik halinde gösterilmiştir. Tartışmalar bölümünde ise çalışmaların YDD sonuçları paylaşılmış ve sonuçlar daha kolay karşılaştırılabilmesi için yine grafikler halinde gösterilerek yorumlanmıştır.

Çevreye etkisinin sıkça tartışıldığı, çevreci olduğu iddia edilen ve bu yönüyle asfalt kaplamalı yollarla sıkça karşılaştırılan beton kaplamalı yollar, bu çalışmada üretim, uygulama ve bakım süreçlerinde sebep oldukları emisyonlar açısından ele alınmıştır. Bu amaçla asfalt ve beton üretiminde karbon ayak izinin elde edilmesine yönelik girişimlerimizin asfalt rafinerilerinden, çimento üretim tesislerinden ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan ilgili verilerin alınamaması nedeniyle çalışmaya esas olmak üzere literatürden elde edilen iki çalışmanın sonuçları karşılaştırılarak sonuçları değerlendirilmiştir. İncelenen iki çalışma ile beton kaplamaların, servis ömürleri boyunca hangisinin daha çevreci olduğunun objektif bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sonuçlarda görüldüğü üzere; özellikle malzeme üretimi ve kaplama yapımına kadarki geçen süreçte ve servis ömrü sonunda BSK kaplamalı yollar, faydalanılan çalışmalarda CO₂ emisyonu açısından daha avantajlı ve çevreci konumdadır. İncelenen ve kullanılan literatür çalışmalarında % 45 ve % 5 oranında PÇB kaplamalar daha fazla Küresel Isınma Potansiyeline sahiptir. Ancak aradaki bu büyük fark her bir çalışmanın kendi içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Havada asılı tozlar olan PM₁₀ emisyonu için ise yine BSK kaplamalı esnek üstyapılar asfalt yollara göre beton yollar daha avantajlıdır.

Çalışmalardan görüldüğü gibi esnek üstyapılar üretim süreci açısından, rijit üstyapılara göre daha çevreci olup, çevreye daha az havada asılı toz yaymaktadır. Bu yönleri ile uzun vadede işçi ve çevre sağlığını daha az tehdit etmektedir. Ülkemiz verilerinin -elde edilebilmesinin zorluğundan dolayı- kullanılması mümkün olmamış, büyük ölçüde literatürdeki Amerika ve Avrupa'daki çalışmalardan faydalanılarak hazırlanmış olan bu çalışmada; beton kaplamalı yolların; bağlayıcı olarak kullanılan Portland çimentosu üretiminde ulaşılan yüksek sıcaklıklar (~1.400 °C) ve kireçtaşının (CaCO₃) dekarbonizasyonu sonucu açığa çıkan CO₂ nedeni ile asfalt kaplamalı yollara göre daha az çevreci oldukları görülmüştür. Asfalt ve beton kaplamalı yolların (esnek ve rijit üstyapıların) çevresel etkilerinin Türkiye şartlarında ortaya konulması gerekmektedir. Bu nedenle, yapılacak çalışmalarda, ülkemizde bulunan çimento üretim tesisleri, beton santraller, petrol rafineleri, asfalt plantleri ve bu işletmeleri sürekli ve/veya periyodik olarak denetleyen kurum ve kuruluşlardan temin edilecek veriler ışığında yeniden ülkemiz koşulları için değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bu şekilde beton ve asfalt yolların çevresel etkiler açısından karşılaştırması çok daha gerçekçi olarak yapılabilecek ve farklı üstyapıların çevre ve işçi sağlığına etkileri konusunda farkındalık yaratılacaktır.

Bu çalışmanın ilgili bakanlık ve/veya kurum, kuruluşlardan elde edilecek veriler ile yapılması ve gerekli tüzük ve yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmesi, yol ağı giderek genişleyen Türkiye'de kaplama tipi seçiminde etkili olabilecektir. Sonuçların çevresel faktörlerin etkisi altında üretim koşullarının değişmesi nedeni ile bir miktar farklılık göstereceği bilinmektedir. Bu nedenle karbon ayak izinin belirlenmesinin her

Çalışma özelinde yapılması gerekmektedir. Yapılacak bu alışmalar İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği ve evre sağlığının da gözetilmesinde belirleyici olacaktır. Ancak gerekli Bakanlık, tesisler ve özel kuruluşlardan talep edilen emisyon değerlerinin paylaşılması konusunda çekinceler olduğu, bunun da yapılacak çalışmaların önündeki en büyük engel olduğu ve ülke şartlarına uygun çalışmaların yapılamaması sonucunu doğuracağı, yapılacak çalışmaların Bakanlık nezrinde ve üniversitelerin iş birliği ile yapılmasının gerekliliğini göstermiştir.

Türkiye’den veri elde edilebildiğinde, örnek olarak Roadprint gibi bir karbon ayakizi analiz yazılımı kullanılarak kaplamaların ülkemizdeki potansiyel çevresel etkilerine yorum yapılabilir. Ancak bu yazılım da yerli olmadığından veri toplama gibi, veri işlemede de sıkıntılar yaşanmaktadır. Toplanan verilerin girişinde uyumazlıklar gözlemlenmiştir. En basit örnek ile Amerika’daki beton yol yapım çalışmalarında kullanılan MTV (Material Transfer Vehicle), lkemizde bulunmamakta ve yerine mikserler, pompalar ve hatta kamyonlar kullanılmaktadır. Bunun gibi sebepler ile yapılacak olan çalışmalarda bölgesel veriler kullanılacak olsa dahi, gerçek hayatı birebir yansıtmayabilir.

Beton yolların gittikçe yaygınlaştığı Türkiye’de bu ve buna benzer çalışmaların yapılması büyük önem arz etmektedir. Çünkü bir kaplama türü her yönüyle diğerinden üstün değildir. Farklı kaplama türlerinin, birbiri üzerinde farklı üstünlükleri vardır. Beton yol yapımı ve hizmet ömrü boyunca toplamda daha fazla emisyonu sebep olsa da, düşük yuvarlanma direnimi sayesinde taşıtlarda yakıt tasarrufu ve bu tasarruf sayesinde de taşıtların karbon emisyonunu düşürdüğü bilinmektedir. Literatürde karşılaşılan çalışmalar beton yollardaki yakıt tüketimindeki azalmayı göz önüne almaması büyük bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır. Özellikle hizmet ömrünün 30 veya 50 yıl olarak kabul edildiği göz önüne alındığında, yakıt tüketimindeki azalmadan kaynaklı emisyon farklılıkları ciddi mertebelere ulaşabilir. Bu durumun sonuçlar üzerinde etkili olacağı ve belki de asfalt kaplamalara nazaran ömür – yaşam dnės açısından daha çevreci oldukları görülebilecektir.

KAYNAKLAR

- Abut, Y. (2018). *Silindirle sıkıştırılmış beton yol: kalite kontrol çalışmaları*. Beton Yollar ve Köydes Projesi Eğitim Semineri. Ankara.
- Abut, Y. ve Cankaya, T. (2016). Beton yollar - Kocaeli Büyükşehir Belediyesi örneği. *Hazır Beton*, (133), 77-83.
- Ağar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G. (1998). *Beton yollar (rijit yol üstyapıları)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Akpınar, M. V. (2014). *Beton yollar: Hasdal - Kemerburgaz*. 18 Şubat 2019, <http://mvakpinar.com/?mva=derslerim&dersno=8>.
- Argonne National Laboratory. (2006). *Argonne GREET Model*. 4 Ocak 2019, <https://greet.es.anl.gov/>
- Ateş, G. M. (2011). Asfalt serme. *İnşaat Makineleri Mühendisleri Birliği Dergisi*, (34), 34-54.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felenkoğlu, B., . . . Öztürk, U. A. (2015). *Beton*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Cooper, J. (2008). *UWME GREET data extraction*. Ders notu, University of Washington, Washington.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2015). 2011/4 Sayılı Genelge Hk. Genelge (2015/02). *Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, 88244947-010.06-2150.
- Çimentaş Grup. (2017). *İklim değişikliği ve çevre*. İzmir: Çimentaş Grup.
- Ecevit, O. (2007). *Karayollarında rijit üstyapı uygulamaları ve tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ecoinvent (2009). *The Ecoinvent database*. 4 Ocak 2019, <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>.
- Enviros Consulting Ltd. (2003). *Glass recycling – life cycle carbon dioxide*. Sheffield: British Glass.

- EPA (2008). *NONROAD model*. 4 Ocak 2019, <https://www.epa.gov/moves/nonroad-model-nonroad-engines-equipment-and-vehicles>
- EPA (2017). *Greenhouse gas equivalencies calculator | energy and the environment | US EPA*. 17 Ağustos 2018, <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>
- EUPAVE (2018). *Beton: kentsel ulaşım altyapısının sürdürülebilir ortağı*. (TÇMB, Çev.). Ankara: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği. (Orijinal çalışma basım tarihi 2018)
- Eurobitume. (2011). *Life Cycle Inventory: bitumen*. Brussels: European Bitumen Association.
- Federal Highway Administration. (2006). *Integrated materials and construction practices for concrete pavement*. Ames: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Fişek Enstitüsü. (2015). *Yol yapımında iş sağlığı güvenliği*. 12 Mart 2018, <http://www.isguvenligi.net/iskollari-ve-is-guvenligi/yol-yapiminda-is-sagligi-guvenligi/>.
- Gücanlı, G. E. ve Müngen, U. (2006). Bulanık kümeler ile inşaatlarda yeni bir iş güvenliği risk analizi yöntemi. *İTÜ Dergisi*, 5 (4) 83-94.
- Gülen Şahin, F., Derin, E. ve Arıkoğlu, G. (2016). Eskişehir'de beton yol yapımı. *Hazır Beton*, (136) 77-86.
- Güney, M. (2017). Raynaud fenomeni. *İşte Sağlık*, 9 (23), 28-29.
- Gürsel, P. A. ve Meral, Ç. (2012). *Türkiye'de çimento üretiminin karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi*. 2. Proje ve Yapım Yönetim Kongresi, İzmir.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ. ve Eren, K. (2001). *Asfalt ve uygulamaları*. İstanbul: İSFALT.
- İHA. (2019). 12 yıldır bozulmayan yol. 10 Nisan 2019, <https://www.haberler.com/12-yildir-bozulmayan-yol-11876178-haberi/>

- Karayolları Genel Müdürlüğü (2018). *Trafik ve ulaşım bilgileri*. 5 Mart 2019, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarayoluUlasimIstatistikleri2017.pdf>.
- Karayolları Genel Müdürlüğü (2018). *Yol ağı bilgileri*. 5 Mart 2019, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx>.
- KGM Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı. (2018). Beton yollar deneme uygulamaları. *Araştırma ve geliştirme projeleri*. 18 (1) 6 Mart 2019, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/ARGEÇalışmaları/KGM%20AR-GE%20Projeleri%202018.pdf>.
- Kozak, M. (2011). Beton yollar ve beton yol yapımının araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), <https://docplayer.biz.tr/16333347-Beton-yollar-ve-beton-yol-yapiminin-arastirilmesi.html>.
- Lin, Y.-Y. (2012). *Eco-decision making for pavement construction projects*. Doktora Tezi, University of Washington, Washington.
- Milachowski, C., Stengel, T. ve Gehlen, C. (2011). *Life Cycle Assessment for road construction and use*. Münih: EUPAVE.
- Mundt, K. A., Dell, L. D., Crawford, L., Sax, S. N. ve Bofetta, P. (2018). Cancer risk associated with exposure to bitumen and bitumen fumes: An updated systematic review and meta-analysis. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60 (1).
- PCA (2006). *Life Cycle Inventory of Portland Cement manufacture*. 14 Mart 2019, https://www.nrmca.org/taskforce/Item_2_TalkingPoints/Sustainability/Sustainability/SN2095b%20-%20Cement%20LCI%202006.pdf.
- PCA (2007). *Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete*. 14 Mart 2019, http://www.nrmca.org/taskforce/item_2_talkingpoints/sustainability/sustainability/sn3011%5B1%5D.pdf.

Pontarollo, G. (2000). *Environmental life cycle cost analysis: a review of economic, energy and green house gas emission impacts of asphalt and concrete pavements*. Yüksek Lisans Tezi, University of Toronto, Toronto.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009, 3 Temmuz) *Resmî Gazete* (Sayı: 27277).
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/07/20090703-20..htm>.

Stripple, H. (2001). *Life Cycle Assessment of road* (2. Baskı). Gothenburg: Swedish Environmental Research Institute.

Şenol, A. (2010). *Karayolu yol üst yapısı*. Ders notu. Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası. (2018). *İşçi sağlığı ve iş güvenliği oda raporu* (8. Baskı). Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Topal, A. (2010). *Beton yolların tasarımı*. Ders notu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

TÜKÇEV (2014). *Sera gazları*. 07 Mayıs 2018,
<http://web.archive.org/web/20140423093427/http://www.cevreonline.com:80/kur-esel/sera%20gazlari.htm>.

Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği (b.t.). *Asfaltın avantajları*. 22 Haziran 2018,
<http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=28>.

Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği (b.t.). *Asfalt'ın tarihçesi*. 22 Haziran 2018,
<http://www.asmud.org.tr/asfalt.php>.

Türkiye Hazır Beton Birliği (2003). Beton yollar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (427), 38-44.

Yaman, İ. Ö., ve Ceylan, H. (2013). Silindirle sıkıştırılmış beton yollar. *Hazır Beton*, (117), 69-82.

Yaman, İ. Ö., ve Ceylan, H. (2015). Silindirle sıkıştırılmış beton yollar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (487), 44-61.

Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği (2013, 5 Ekim) *Resmî Gazete* (Sayı: 28768).
<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/10/20131005-2.htm>

Yeniboğanlı, P. A. (2010). *Türkiye'nin ilk beton karayolları*. Ankara: TÇMB.

Yüksel, O. (2011). *Türkiye'de çevre bilincinin oluşması*. 4 Şubat 2018,
<http://politikakademi.org/2011/03/turkiyede-cevre-bilincinin-olusmasi/>.

